

Den globala uppvärmningen

– Vad kommer att hända med morgondagens värld?

The global warming

- What will become of tomorrow's Earth?

Herman Nilsson



VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Den globala uppvärmningen

– Vad kommer att hända med morgondagens värld?

The global warming
– What will become of tomorrow's Earth?

Herman Nilsson

Handledare: Göran Ågren, Sveriges lantbruksuniversitet,
Institutionen för Ekologi
Examinator: Riitta Hyvönen Olsson, Universitet,
Sveriges lantbruksuniversitet,
Institutionen för Ekologi

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grund C

Kurstitel: Självständigt arbete i Miljövetenskap

Kurskod: EX0432

Program/utbildning: Biologi och miljövetenskap

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2010

Omslagsbild: Herman Nilsson

Serienamn: nr (I förekommande fall. Institutionen har dessa uppgifter)

ISSN: XXXX-XXXX (I förekommande fall.)

ISBN: XXXXXXXXXXXXX (I förekommande fall.)

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Global uppvärmning, växthuseffekt, klimat, klimatförändring, klimateffekter, fossila bränslen, utsläpp, koldioxid.



Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap
Institutionen för Ekolog

Abstract

Mankind faces a serious threat. Its activities, for example the burning of fossil fuels, have led to an enhancement of the greenhouse effect - something that has given rise to a global warming. The climate is becoming warmer, a change that has important effects on the nature as well as for humans and their society. Sea level rising, extreme temperatures are becoming more common, glaciers and other ice caps melt and storms becomes more intense when they appear.

The main cause is the emission of greenhouse gases into the atmosphere - carbon dioxide in particular. The world is now aware of the problem and work to mitigate the changes and their effects has begun. The main objective is to significantly reduce global emissions of carbon dioxide. To achieve this climate policy, decisions have been made, an international market for carbon dioxide trading has been instituted, national instruments have been developed, technology development is in progress and mechanisms to promote reducing efforts have been established. The emission rate has slowed in some parts of the world and in some countries they have even been reduced. In many developing countries, primarily China and India, the emissions increase as the industrialization takes place. The emissions from these countries must be reduced as well, if the objectives are to be achieved and the warming to be limited. The warming is a worldwide matter that may affect everyone. Emission reductions must be done in the near future. Otherwise, the problem is likely to be unmanageable and have significant impacts on the living species and the human society. Floods, droughts, heat waves, severe storm damage and reduced food production are only some of the warming impacts. Some adjustments have been made to deal with the impacts, but they need to be done to a greater extent than today. It is difficult to predict the future, even with the help of extensive calculations and construction of models and scenarios. The way we act in the nearest future will determine what the future will be like.

Sammanfattning

Människan står inför ett allvarligt hot. Hennes verksamheter har, genom bland annat förbränning av fossila bränslen, lett till att växthuseffekten har förstärkts – något som har givit upphov till en global uppvärmning. Klimatet håller på att bli varmare, en förändring som får omfattande effekter för naturmiljön såväl som för människan och hennes samhälle. Havsytan stiger, extrema temperaturer blir allt vanligare, glaciärer och andra istäcken smälter och ovädren blir allt kraftigare.

Den främsta orsaken till detta, är utsläpp av växthusgaser till atmosfären – framför allt utsläpp av koldioxid. Världen har reagerat på klimatförändringen och arbetet för att mildra förändringen och dess effekter har tagit fart. Det främsta målet är att kraftigt reducera de globala utsläppen av koldioxid. I miljöarbetet har klimatpolitiska beslut fattats, en internationell marknad för koldioxid uppstått, nationella styrmedel tagits fram, teknikutvecklingen är på frammarsch och mekanismer som ska främja ansträngningar för att begränsa klimatförändringarna har inrättats. På en del håll i världen har utsläppen avtagit och i vissa länder har de till och med reducerats. I många utvecklingsländer, med Kina och Indien i spetsen, ökar emellertid utsläppen i takt med att industrialisering sker. Även dessa nationers utsläpp måste reduceras om de uppsatta målen ska kunna nås och uppvärmningen begränsas. Uppvärmningen är en global angelägenhet som berör alla.

Utsläppsreduceringar måste ske inom en snar framtid. Annars riskerar problemet att bli ohanterligt och få stora konsekvenser för de levande arterna och det mänskliga samhället. Översvämningar, torka, värmeböljor, ökad frekvens av stormskador och reducerad livsmedelsproduktion är bara några av konsekvenserna som uppvärmningen kan medföra. En del anpassningar har gjorts för att bemöta klimatförändringens effekter, men de måste göras i ännu större utsträckning jämfört med idag. Trots omfattande beräkningar och utveckling av modeller och framtidsscenarioer är framtiden svår att förutse, men vårt agerande inom den allra närmaste tiden kommer att fälla avgörandet för hur den kommer att se ut.

Innehållsförteckning

Introduktion	9
Klimatet i naturlig förändring	12
Klimat och väder – två begrepp med olika innebörd.....	12
Klimatsystemet befinner sig aldrig i jämvikt	13
Solljuset absorberas och reflekteras – både vid jordytan och i atmosfären	13
Växthuseffekten – nödvändig för livet men samtidigt ett hot inför framtiden.....	15
Antropogen påverkan har medfört förstärkt växthuseffekt.....	17
Förhöjda halter av koldioxid i atmosfären	17
Strålningsdrivning – bevis på växthusgasernas värmande effekt.....	17
Fossila bränslen – inte en del av kolets naturliga kretslopp.....	18
Skogen är en kolsänka som snabbt kan förvandlas till en kolkälla	19
Metan, lustgas och HFC-föreningar – gaser med stor uppvärmningspotential.....	20
Partiklars inverkan på växthusgasernas effekter	22
Uppvärmningens effekter i modern tid	23
Stigande havsnivå – inte bara ett resultat av smältande glaciärer	24
Stora delar av jordens ismassor riskerar att försvinna helt	25
Permafrosten i norr reduceras – risk för metangasläckage	27
Extrema temperaturer riskerar att orsaka de största problemen.....	28
Svåra hälsoproblem hos människor – en konsekvens av de extrema temperaturerna	29
Kraftiga oväder tycks bli allt vanligare.....	29
Klimatförändringarna hotar ekosystem världen över	29
Korallerna riskerar att gå under.....	30
Klimatpolitiken och åtgärder för att få bukt med problemet med den globala uppvärmningen.....	31
Kyotoprotokollet – en internationell handlingsplan	32
Åtgärder för att uppnå Kyotoprotokollets mål	33
Styrmedel för att reducera utsläppen och reducera klimatpåverkan.....	33
Handel med utsläppsrätter – det viktigaste styrmedlet ur internationell synpunkt	34
Förändringar av livsstil och konsumtionsmönster kan bidra till minskade utsläpp	35
Hur ser läget ut inför framtiden?	36
Diskussion	37

Varför är klimatproblemet så brådskande?	37
IPCC: s framtidsscenarioer om hur framtiden kan komma att se ut	38
Kan det krävas att utvecklingsländer också reducerar sina utsläpp?.....	43
Samhället kommer att utsättas för svåra påfrestningar av olika slag	45
Översvämningar – ett framtida problem av stor skala.....	45
Livsmedelsproduktionen riskerar att inte räcka till i det långa loppet.....	46
Extrema väder har visat hur känsligt dagens samhälle är	47
Nya global värmebölja – en sjätte utrotningsperiod?	47
Avslutning och slutsatser.....	48
Källförteckning.....	50

Introduktion

Klimatet har alltid varit i och kommer alltid att befinna sig i förändring. Genom alla tidsåldrar har klimatet spelat en betydande roll för formgivningen av vår värld. Det har hjälpt till att forma de majestätiska bergen, bygga upp marken och dess struktur, inverkat på floderna och dess naturliga flöden, bildat de mäktiga inlandsisarna, och haft en stor del i uppbyggandet av floddeltan runt om i världen. Fram till industrialiseringen har klimatet också bestämt var på vår planet som människan har kunnat leva och dessutom varit den avgörande faktorn för våra matförråd. Med dagens moderna teknologi och kunskap kan människan numera leva även på platser där det på grund av klimatet hade varit en omöjlighet att leva förut. Denna teknologi i samklang med bristande kunskap har lett till att klimatet som vi människor alltid har känt det, under vår historiskt korta existens, är på väg att förändras. En förändring som sker i en betydligt snabbare takt än vad som kan betraktas som naturligt. Den här förändringen innebär att det globala klimatet överlag håller på att bli varmare, ett utvecklingsskede som brukar benämnas som *global uppvärmning*. Förändringen av jordens klimat är i dagsläget den mest omdiskuterade miljöfrågan.

I slutet av 80-talet, närmare bestämt år 1988, höjde den amerikanske atmosfärfysikern *James E. Hansen* rösten och framförde sina åsikter och teorier om att klimatet höll på att förändras och att det med största sannolikhet berodde på människan ¹¹. Mycket på grund av att de framlades under en tid där samhället hade drabbats av märkbara problem till följd av olika vädersituationer (däribland ihållande sommarhetta med svår torka som följd), fick hans åsikter stort utrymme i media. Genom massmedia spreds tankarna bland allmänhet och beslutsfattare. Samma år som *Hansen* gjorde sina uttalanden upprättades också FN-organet *IPCC* (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) som ett internationellt samarbetsorgan för klimatforskare över hela världen; en utförlig beskrivning av detta har gjorts av Bert Bolin (*A history of the science and politics of climate change : the role of the Intergovernmental Panel on Climate Change*). Forskarna inledde med att sammanställa klimatförändringens upphov och konsekvenser i en första omfattande utvärdering, som publicerades år 1990. Debatten runt om i världen har sedan dess varit omfattande, men de flesta forskare är i nuläget ense om att människan och hennes verksamheter med stor sannolikhet bär skulden till den globala uppvärmning som observeras på vår planet ¹².

Under jordens historia har det ett flertal gånger skett globala temperaturförändringar, både mot ett kallare och mot ett varmare klimat ¹. En förhistorisk global uppvärmning av sådant slag kunde leda till omfattande transformationer av jordens yta – avsmältning av glaciärer, globala såväl som regionala utdöenden av arter, kontinentala förändringar av vegetation och en höjning av havsnivån med i upp mot 120 meter ¹⁵. Vid tidigare globala uppvärmningar kunde genomsnittstemperaturen öka med omkring 5 °C under en period av cirka 10 000 år ¹⁵. Det innebar att temperaturen steg med 0,05 °C varje århundrade. Den här

uppvärmningshastigheten kan jämföras med dagens uppvärmning där temperaturen under de senaste femtio åren har stigit med en hastighet av 1,3 °C¹⁵ per århundrade.

Mänskligheten har alltid varit bra på att anpassa sig och föröka sig. Den har också alltid strävat efter att förbättra sina levnadsförhållanden och höja sin standard. Det kan röra sig om allting från boplatser och typ av föda till transportmedel och materiellt välstånd. Användningen av fossila bränslen och verksamheter såsom jordbruk har i allra högsta grad hjälpt människan i sin strävan. Detta också satt sina avtryck på miljön. Det finns åtskilliga anledningar att acceptera att det är människan som genom sina utsläpp och sin markanvändning orsakar den allt för snabba uppvärmningen³. Bland dessa finns kunskaperna om klimatet och dess beteende, kunskaperna kring förhållandet mellan atmosfärens sammansättning och strålningsbalansen och gamla såväl som nya mätningar av både temperatur, havsnivå och koldioxidmängd i atmosfären. När det gäller det sistnämnda har halterna koldioxid i atmosfären stigit från 280 ppm⁸ (*parts per million; miljondelar av den totala luftvolymen*) innan industrialiseringen, till 389,9 ppm⁹ som dagens mätningar uppvisar. Med andra ord har mängden koldioxid i atmosfären ökat med 40 procent sedan intåget av industrierna och allting som följde därtill. På jorden lever det idag omkring 6,75 miljarder människor¹⁸ och för att förstå omfattningen av människans utsläpp av koldioxid kan man relatera det till befolkningens mängd vilket innebär att varje enskild invånare årligen står för att cirka 4,4 ton koldioxid släpps ut till atmosfären¹².

I en artikel från SVT och Rapport¹⁷ slog SMHI fast att södra Sverige i februari år 2008 stod utan årstid, då det konstaterades att det var för varmt för att februari skulle kunna kallas för vinter men samtidigt för kallt för att säga att våren hade kommit. Som artikelns och SMHI:s konstaterande antyder så har effekterna av den uppvärmning som hittills har skett redan kunnat ses. Samtidigt som det har blivit varmare har glaciärerna börjat smälta och dra sig tillbaka, extrema temperaturer uppmätts, kraftigare tropiska stormar uppkommit och havsnivån har börjat stiga med en snabbare takt än den gjort på tusentals år. Följderna av uppvärmningen har redan fått stora konsekvenser för samhället såväl som för ekosystemen och får uppvärmningen fortsätta finns det överhängande risker att konsekvenserna blir allt mer omfattande. Av den anledningen kan klimatförändringen ses som ett allvarligt hot, ett hot som är mer omfattande än det tidigare väldigt uppmärksammade hotet mot ozonlagret. För att få bukt med det problemet räckte det med några tekniska genombrott, men i fallet med klimatförändringen är det långt mer komplicerat.

Mänskligheten står inför ett gemensamt problem, ett problem som har målats upp som allt mer brådskande och vars följder kan bli katastrofala. Varför är det då så bråttom och vilka hinder finns på vägen mot en slutgiltig lösning? Finns det överhuvudtaget en slutgiltig lösning eller håller människan på att gräva sin egen grav? De här frågorna ämnar jag i möjligaste mån besvara. För att kunna göra det och för att kunna förstå den kringliggande problematiken

krävs det också att man känner till de naturvetenskapliga och samhällsvetenskapliga grunderna till problemet i sig men också till uppvärmningens effekter och naturliga förlopp/faktorer såsom klimatets beteende och varför det beter sig som det gör. Jag har av den anledningen gjort en litteraturoversikt där jag har sammanställt de nödvändiga fakta som behövs för ändamålet. Temperaturförändringar och konsekvenser/skador följer inte ett linjärt mönster. Vid små förändringar blir ofta effekterna små. Dock blir konsekvenserna allt mer omfattande när temperaturhöjningen passerar så kallade gränsvärden eller tröskelvärden (*thresholds* på engelska). För att öka den grundläggande förståelsen för problemet global uppvärmning, skulle jag därför vilja dra en parallell mellan den globala medeltemperaturen och vår egen kroppstemperatur. Om vi har lite feber och har en kroppstemperatur på 37,5 grader och temperaturen stiger med en grad till 38,5 grader är det inte så farligt, men om vi råkar ha 40 graders feber och febern stiger en grad, är läget genast väldigt allvarligt...

Klimatet i naturlig förändring

Klimat och väder – två begrepp med olika innebörd

Det som många säkert tror är att begreppet *klimat* betyder ungefär samma sak som begreppet *väder*. Den uppfattningen är dock felaktig. *Väder* är något som kan variera från dag till dag och vi upplever det som att dagen/natten är regnig, solig, molnig eller att det åskar och blixtrar. Helt enkelt kan man säga att de tillfälliga fysikaliska processer som sker ovanför oss i atmosfären kan sammanfattas som väder ². Klimatet å andra sidan kan beskrivas som det genomsnittliga vädret under en längre tidsperiod ¹¹, alltså en sammanfattning av hur vädret brukar vara på en plats. Det kan till exempel uttryckas som att det för det mesta är varmt och torrt eller kallt och fuktigt. Det brukar talas om det globala klimatet, men samtidigt också om att Sverige, som exempel, har ett visst klimat. Hur kommer detta sig? Det beror på att klimatet kan beskrivas ur flera aspekter och ur varierande skala. Det kan ha en viss geografisk utbredning såväl som en viss omfattning i tid ¹. Klimat förekommer på mikroskopisk nivå, lokal och regional nivå men också ur större perspektiv som global nivå. Det förstnämnda brukar användas på ytor som inte är större än ett fåtal meter upp till några tiotal meter och kan förslagsvis beskriva temperaturförhållandena i en specifik trädunge. Den lokala klimatskalan kan beskriva det speciella klimatet i en stad, där förhållanden i stor grad påverkas av strukturer som människor skapat, eller bergstrakter innehållande aktiva vulkaner och varma källor. På regional nivå kan klimatet jämföras mellan olika områden i ett land eller mellan två skilda länder på samma kontinent. Som vi själva brukar uppmärksamma har Skåne ett annorlunda klimat än Lappland, och på samma sätt har också Sverige ett nordligare och kallare klimat än Spanien, där det råder ett varmt så kallat medelhavsklimat. Studerar man klimat i ännu större skala, alltså på global nivå, blir det mer översiktligt och hänsyn tas till det genomsnittliga över hela världen. Det är alltså här som begreppet *global uppvärmning* kommer in igen, där det avses att det genomsnittliga klimatet i världen håller på att bli varmare.

För att det ska kunna gå att bedöma ifall klimatet befinner sig i förändring måste det gå att jämföra klimatets tillstånd i nuläget med hur det har varit förr i tiden, likaväl när det gäller för ett par år sedan som för tiotal och hundratals år sedan eller rentav ännu längre tillbaka i tiden. Hur förhöll sig klimatet då, vilka vädersituationer var vanliga och vilka temperaturskillnader kunde råda? Som nämndes i inledningen av introduktionen har klimatet alltid befunnit sig i förändring och kommer alltid att fortsätta befinna sig i förändring. För att svara på ovan ställda frågor finns det många olika sätt för att få fram data och teorier som behövs för att möjliggöra ett svar. Människan har gjort egna direkta mätningar av *meteorologi* (läran om atmosfärens tillstånd och förändringar i ett visst ögonblick ¹) i ungefär 200 år och dessa används i stor skala för att kartlägga förändringen. För att kunna få en uppfattning om hur klimatet var längre tillbaka i tiden måste man använda sig av andra tillvägagångssätt.

Isborrkärnor, fossil av vegetation och fauna, glaciala avlagringar, havssediment, luftbubblor i glaciärer samt studier av glaciärernas utbredning är olika sätt ⁶ för att samla data och bygga modeller över hur klimatet kunde ha sett ut. Utifrån detta kan man sedan jämföra med dagens klimat och därigenom avgöra om någon förändring har skett och i sådana fall hur stor den är.

Utförligare information och kunskap om väder, klimat och meteorologi finns i t.ex. boken *Klimat och väder* (Bogren et.al) ².

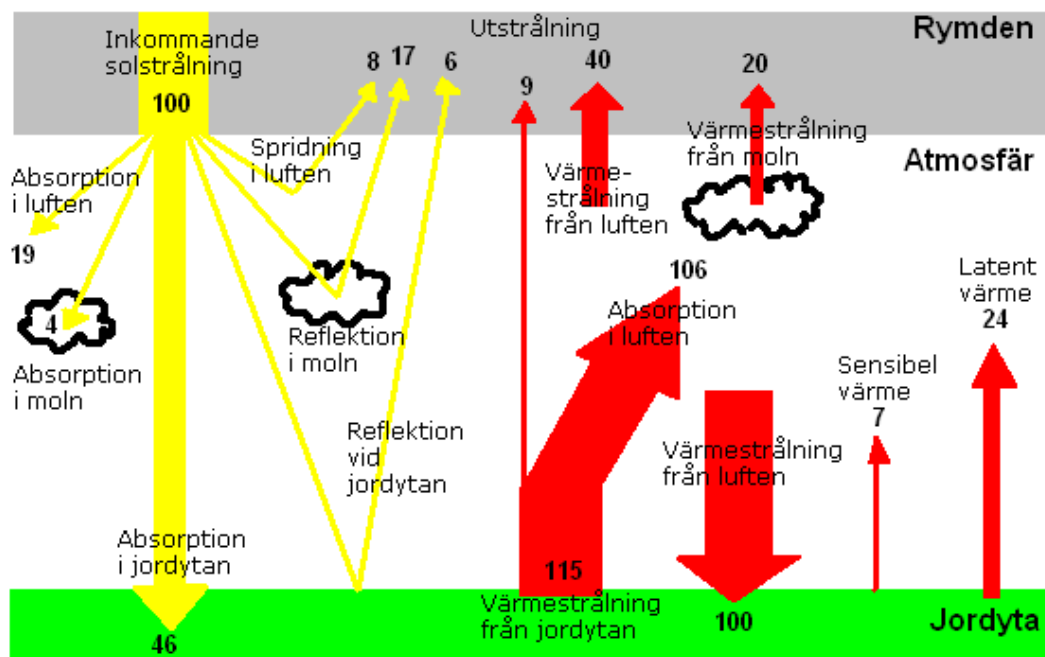
Klimatsystemet befinner sig aldrig i jämvikt

Solen är hela vår planets energikälla. Utan den hade inget liv förekommit. I och med att Jorden dels snurrar runt solen och dels runt sin egen axel och dessutom lutar längs med sin rotationsaxel, exponeras olika delar av jordytan olika mycket av det inkommande solljuset ¹. Det är planetens position i förhållande till dess bana runt solen, sin egen axel och avståndet till solen som ger oss årstiderna *vinter* och *sommar* och också de förhållanden vi kallar för *natt* och *dag*. Lutningen längs den egna axeln gör att områdena kring ekvatorn exponeras för mer solstrålning än områden på de södra eller norra delarna av klotet. Alltså ju närmare någon av polerna en kvadratkilometer ligger, desto mindre årlig inkommande solstrålning får denna i förhållande till en kvadratkilometer vid ekvatorn. Det förklarar varför bland annat norra Ryssland främst består av tundra medan områdena kring ekvatorn för det mesta är varma och tropiska. Enkelt förklarat värms olika delar av jorden upp olika mycket av solen vilket gör att det uppstår temperaturskillnader från plats till plats. Genom att förflytta uppvärmd luft och uppvärmt havsvatten från varmare områden till svalare försöker klimatsystemet att skapa en balans. Det vill utjämna skillnaderna och därigenom uppstår vindar, havsströmmar högttryck och lågttryck. Således har dessa sedan en inverkan på fördelningen av moln, nederbörd och andra väderfenomen ¹¹.

Solljuset absorberas och reflekteras – både vid jordytan och i atmosfären

Den solenergi som solen sänder ut och som tas emot av vår planet i form av solstrålning, absorberas till stor del av mark och vatten. Där omvandlas den sedan till värme. Det faktum att jordytan inte blir konstant varmare i ett högre tempo innebär att det råder en naturlig balans mellan den inkommande solstrålningen och all denna värmeenergi, en balans som brukar benämnas som *strålningsbalansen* ¹¹. Värmeenergin sänds nämligen tillbaka ut mot rymden i form av värmestrålning. Av naturliga förklaringar kan det exempelvis vara så att solen inte sänder ut en konstant mängd solenergi hela tiden. Om större mängd solljus inkommer från solen absorberas detta såklart vid jordytan och det blir tillfälligt varmare. Dock ställer balansen in sig efter hand och den ökade absorptionen följs av ett större avgivande av värmestrålning, så att emissionen blir lika stor som absorptionen. Så istället för att den ökade mängden solljus leder till att det blir varmare och varmare så blir det bara en höjning av temperaturen vid jordytan till dess att jämvikten ställer in sig.

Solljuset som inkommer mot jordytan och värmestrålningen som sänds ut mot rymden passerar dock inte atmosfären utan hinder. I strålningsbalansen ingår också reflektion och absorption i atmosfären och dessutom reflektion vid markytan. Förmågan att kunna reflektera ljus brukar kallas *albedo* ⁶. Olika ytor och objekt har olika förmåga att reflektera såväl som absorbera ljus, och dessa förmågor kan sägas vara varandras motsatser. Mörka ytor har en god förmåga att absorbera solljus. Detta brukar vi ofta märka av i vardagen när vi soliga dagar bär svarta kläder utomhus. Mörka ytor har samtidigt dålig förmåga att reflektera solljuset och har således lågt albedo. På motsvarande sätt är ljusa ytor bra på att reflektera, alltså har de ett högt albedo, och dåliga på att absorbera ljuset. Snö och is är väldigt ljusa ytor och har därför ett högt albedo i förhållande till mörkare ytor som vatten och barmark som av den anledningen har ett lägre albedo. På det här sättet inverkar också strålningsbalansen på uppkomsten av istider. Minskar den inkommande solstrålningen blir det också kallare vid markytan och låga temperaturer främjar bildandet av snö- och istäcken. En ökad förekomst av dessa leder i sin tur till att mer solstrålning reflekteras vid markytan istället för att absorberas och omvandlas till värme och således sjunker temperaturen ytterligare och isen kan fortsätta att breda ut sig och så vidare. På liknande sätt kan också människans aktiviteter bidra till att klimatet förändras till följd av förändrad markanvändning och därigenom förändrat albedo.



Figur 1. Strålningsbalansen för jorden uttryckt som procent av inkommande strålning ovanför atmosfären.
Källa: data från Bogren et al. ¹

Strålningsbalansen i sin helhet åskådliggörs i *Figur 1* ovan. Av det inkommande solljuset absorberas ungefär 46 procent och omkring 6 procent reflekteras av markytan. Vad händer då med den resterade mängden strålningen? Som både *Figur 1* och rubriken ovan förtäljer sker det även en reflektion och absorption i atmosfären. Huvudaktörer i dessa processer är molnen och mikroskopiska partiklar i luften. Cirka 4 procent absorberas av molnen som samtidigt också reflekterar omkring 17 procent av det inkommande solljuset tillbaka ut mot kosmos.

Hur mycket som absorberas och hur mycket som reflekteras hos ett visst moln beror bland annat på dess utseende, struktur och strålningsegenskaper ¹. Som många säkerligen lägger märke till är molniga dagar ofta förhållandevis svala. Det beror givetvis på att solens värmande strålar i högre grad reflekteras av molnen i fråga, och på så vis blir det en lokal sänkning av temperaturen vid marken. Nattetid kan molnens effekt på temperaturen vara den motsatta. Molnen fungerar nämligen också som en barriär för den värmestrålning som sänds ut från markytan vilket resulterar i att värmen hålls kvar i atmosfären ¹¹. På så vis kan mulna nätter vara mildare än stjärnklara nätter på grund av att värmestrålningen som marken sänder ut under dagen stannar kvar i atmosfären. Även molnfria dagar och nätter hejdas en del av solljuset av partiklar, som liksom molnen både kan reflektera och absorbera solljus efter samma principer som för olika typer av ytor. Mörka partiklar (som exempelvis sotpartiklar) absorberar ljus och sänder i likhet med marken sedan ut värmestrålning, medan ljusa partiklar (däribland sulfatpartiklar) reflekterar, eller närmare bestämt sprider ljuset (alltså ändrar ljusets riktning) tillbaka ut mot rymden men också mot marken. En förhöjd halt av ljusa partiklar i atmosfären får i allmänhet en avkylande verkan vid jordytan medan en ökad halt av mörka partiklar kan orsaka det motsatta, förutsatt att den största delen av den emitterade värmestrålningen riktas mot marken. Områden som har mycket sotpartiklar i luften kan därför få en lokal uppvärmning. Exempel på det var staden Los Angeles som, innan den skärpta lagstiftningen om luftkvalitet infördes, hade stora problem med smog som låg som ett täcke över stora delar av staden.

Mer ingående läsning om strålningsbalansen finns t.ex. i *Biogeofysik – en introduktion* (Eckersten et al.) ⁶.

Växthuseffekten – nödvändig för livet men samtidigt ett hot inför framtiden

Vad händer då med all den värmestrålning som sänds ut från framför allt marken men också från moln och partiklar? Det mesta av värmen går aldrig direkt ut i rymden utan stannar faktiskt kvar i atmosfären. Det beror på att luften i atmosfären fångar upp den och delvis sänder tillbaka den mot jordytan igen. Det är ett fenomen som brukar liknas vid ett växthus där värmestrålningen från växthusets insida hålls kvar av det omgivande glaset, och av denna anledning brukar fenomenet i dagligt tal benämnas som den så kallade *växthuseffekten* ¹¹. Att värmen på så vis hålls kvar i atmosfären och värmer jordens yta utgör en viktig förutsättning för liv. Hade värmestrålningen inte fångats upp och hållits kvar utan istället hade kunnat passera utan hinder ut i rymden hade situationen varit betydligt annorlunda. Då hade den genomsnittliga temperaturen i världen varit omkring 30 °C lägre än i dagsläget ¹. Medeltemperaturen i världen skulle då ligga på omkring -19 °C istället för cirka 14 °C som den gör i nuläget ¹¹. Växthuseffekten är alltså nödvändig för livet på jorden.

Vad är det som ligger till grund för växthuseffekten? Det är atmosfärens sammansättning – dess innehåll av värmeabsorberande gaser ¹¹. Sammansättningen presenteras i *Tabell 1*.

Gaserna i atmosfären hejdar i nämnvärd mening inte det inkommande ljuset med undantag av den mest energirika UV-strålningen som absorberas av ozon. Atmosfärens två mest förekommande gaser, kväve (78,08 %) och syre (20,09 %), utgör heller inget hinder för den utsända värmestrålningen. Det finns dock andra, i mindre mängd förekommande gaser, i atmosfären som effektivt absorberar värmestrålningen. Gaser med denna förmåga brukar kallas *växthusgaser* och bland dessa hittar vi *vattenånga*, *koldioxid*, *metan* och *dikväveoxid* (eller lustgas). Det är framför allt växthusgaserna som håller kvar värmen inom atmosfären. En viss del av värmestrålningen från markytan fortsätter opåverkad i ursprungsriktningen, men den allra största delen absorberas av gaserna. Därifrån återutsänds den igen och på så sätt sänds värmen tillbaka mot markytan och således får vi ett klimat vid jordytan som är varmare än det skulle vara om det enbart var det inkommande solljuset som bidrog till ytans uppvärmning. De ovan nämnda växthusgaserna har funnits i jordens atmosfär sedan jordens födelse och därför kan växthuseffekten till övervägande del betraktas som naturlig.

Tabell 1. Atmosfärens sammansättning i % eller ppm

Källa: data från Bogren et al. ¹ och Naturvårdsverket ¹²

Beståndsdel	Andel (procent av torr volym)
Kväve	78,08
Syre	20,9
Argon	0,95
Vattenånga	0,3-1,5
Koldioxid	0,038
Neon	18,2 ppm
Helium	5,24 ppm
Metan	1,77 ppm
Krypton	1,14 ppm
Väte	0,56 ppm
Dikväveoxid	0,32 ppm
Kolmonoxid	0,15 ppm
Xenon	0,086 ppm
Ozon	0,020 ppm

Som nämndes i introduktionen förekommer i dagsläget en global uppvärmning. Den beror med största sannolikhet på människans verksamheter. Förändrad markanvändning och utsläpp av luftföroreningar (till följd av förbränning av fossila bränslen) har medfört att atmosfären har tillförts en ökad mängd av växthusgaserna koldioxid, metan och dikväveoxid. Förutom dessa gaser börjar det också uppträda ett antal mycket kraftfulla växthusgaser av enbart industriellt ursprung. Följderna har börjat bli påtagliga. Klimatet är på väg att bli varmare, växthuseffekten är på väg att förstärkas.

Antropogen påverkan har medfört förstärkt växthuseffekt

Förhöjda halter av koldioxid i atmosfären

Människan har sedan andra halvan av 1800-talet gjort regelbundna meteorologiska observationer ¹² och de visar att den avkylande period, som under de senaste århundradena hade ägt rum på den norra delen av halvklotet, då bytte riktning. Världen höll på att bli varmare, och det skedde i ett förhållandevis högt tempo i jämförelse med klimatförändringar tidigare i jordens historia. Den mest sannolika förklaringen till detta är människan och hennes aktiviteter, såsom utsläpp av växthusgaser. Sedan industrialiseringen tog fart har framför allt förbränningen av fossila bränslen lett till att halterna av växthusgaser, i första hand koldioxid, i atmosfären ökat stadigt. Fram till mitten av 1800-talet hade halten koldioxid legat konstant kring 280 ppm ¹² och halten har sedan dess skjutit i höjden och uppgår i dagsläget till hela 389,9 ppm ⁹, en halt som är högre än den varit på miljontals år ¹¹. Det här innebär att koldioxidhalten har ökat med dryga 40 procent under de senaste 150 åren. Ökningstakten har emellertid inte varit konstant sedan 1800-talet. Först var takten ganska måttlig. På omkring hundra år ökade halten ”bara” med 40 ppm och under 1960-talet låg atmosfärshalten endast på 320 ppm ¹¹. Men det var under den här tiden som ökningen tog fart. Som värdena visar, har halten de senaste femtio åren ökat med så mycket som 70 ppm. Det har alltså nästan skett en dubbelt så stor ökning under de femtio år som har passerat sedan 1960 jämfört med den hundraåriga period som sträckte sig från mitten av 1800-talet fram till 1960. Under de blott fem senaste åren har halten stigit med nästan 10 ppm, från 379 ppm år 2005 ¹² till 389,9 ppm år 2010. Resultatet har också visat sig genom att klimatet i allt snabbare takt har blivit varmare. Enligt IPCC steg den globala medeltemperaturen med 0,74 +/- 0,18 °C under perioden 1906-2005 ¹² och vid år 2007 hade elva av de varmaste åren sedan år 1850 inträffat under de tolv senaste åren ¹².

Strålningsdrivning – bevis på växthusgasernas värmande effekt

Det finns de som hävdar att den här kraftiga temperaturökningen inte är orsakad av en förhöjd mängd växthusgaser i atmosfären utan snarare beror på att mängden inkommande solstrålning har ökat. Mätningar av så kallad *strålningsdrivning* visar emellertid att de påståendena är felaktiga. Strålningsdrivning talar om i vilken grad en faktor kan ändra balansen mellan in- och utstrålning i jord-atmosfärsystemet och visar vilken betydelse just den faktorn har som klimatförändringsmekanism ¹². Det innebär att om en faktor har en positiv strålningsdrivning medverkar den till att jordytan värms och negativ strålningsdrivning innebär det motsatta, det vill säga att en avkylning av jordytan sker. IPCC har analyserat sådana mätningar och de visar att solstrålningen sedan mitten av 1700-talet endast i mindre utsträckning har ökat och medfört en strålningsdrivning som uppgår till +0,12 Wm⁻². Detta kan jämföras med mätvärden från uppvärmningseffekten från den ökade mängden växthusgaser som bidrar med en positiv strålningsdrivning på 1,6 Wm⁻², vilket alltså är en betydligt större uppvärmningseffekt jämfört med den ökade mängden solstrålning ¹².

Som redan konstaterats beror den globala uppvärmningen med stor sannolikhet på den förhöjda halten av växthusgaser i atmosfären, något som människan bär skulden till. Att växthusgaserna absorberar den av jorden utsända värmestrålningen och skickar tillbaka den mot jordytan är redan känt. Varför bidrar då människans utsläpp av dessa gaser till en sådan kraftig uppvärmning när de samtidigt utgör en naturlig del av atmosfären? För att begripa svaret på den frågan måste det finnas en förståelse för grundämnet kol och dess kretslopp i naturen.

Fossila bränslen – inte en del av kolets naturliga kretslopp

Hos alla levande organismer i naturen används kol som huvudbyggsten vid uppbyggnad av biomassa. I marken finns det stora mängder olika kolföreningar, och i atmosfären finns kol naturligt i form av koldioxid och metan. Mellan atmosfären, marken, haven och det levande sker ett ständigt utbyte av kol. Växter, till exempel, tar upp atmosfäriskt koldioxid för att använda i sin syntes av sockerprodukter som sedan används för bland annat uppbyggnad av nya celler. Djur får exempelvis i sig kolföreningar genom födan och avger sedan koldioxid som följd av cellandningen. När växter och djur dör sker vanligen en nedbrytning i marken som medför att koldioxid återförs till luften. Allt detta och mer därtill resulterar i ett kretslopp av kol. Träden består av oerhört stora mängder biomassa som byggts upp av kol genom upptag av koldioxid. Koldioxiden återförs som sagt naturligt när trädet efter sin död bryts ner. När vi människor eldar med ved händer i princip samma sak, alltså att koldioxiden genom förbränningen återförs till atmosfären. Vi har så att säga bara skyndat på det naturliga kretsloppet, eftersom koldioxiden som uppstår vid förbränningen relativt nyligen varit en del av kretsloppet då det befann sig i atmosfären innan trädet i fråga tog upp det för eget bruk. När skog avverkats i till exempel bränslesyfte kan ny skog planteras, skog som när den tillväxer kan ta upp den mängd koldioxid som bildades vid förbränningen av de förgående träden. Att skogen kan återplanteras gör att den i energisammanhang kan kallas för en förnyelsebar energikälla.

När växter och djur dör kan det hända att resterna hinner bli begravda i syrefri miljö, i antingen sjö- eller havsbotten eller under markytan, innan en fullständig nedbrytning har kunnat ske ⁸. Genom jordens historia har stora mängder förhistoriska djur och vegetationsrester blivit begravda på detta sätt och de här resterna har med tiden pressats samman och täckts med nya rester, jord och sten och därigenom också tvingats allt längre ner i marken eller botten. Under årmiljonernas gång har de sammanpressade resterna långsamt omvandlas till fossila bränslen – *stenkol*, *brunkol*, *olja* och *naturgas*. Stenkol och brunkol brukar i dagligt tal för det mesta benämnas som enbart *kol*. Det måste här finnas i åtanke att det inte är grundämnet kol i sin renaste form som då avses, utan just fossilt kol. Det fossila kolet har en gång bildats ur rester från landlevande växter i våtmarker ¹¹ som tack vare vatten och lera kunde undgå nedbrytning och därigenom omvandlats till *torv* som sedan ombildats

vidare till kol. Oljan och naturgasen däremot, har framför allt bildats av växt- och djurplankton som efter sin död sjunkit ner till botten av sjöar eller hav där de lagrats och sedan omvandlats ¹¹.

Allt sedan vi människor upptäckte att det gick att utvinna ofantliga mängder energi ur de här fossila bränslena, har vi exploaterat fyndigheterna av dem i en väldigt hög takt och i stor skala över hela världen. Efter att de legat orörda i miljontals år har människan sedan hämtat upp dem ur jordskorpan och djupt ner från havsbotten. De har sedan tjänat som våra bränslen och de ligger i stort sätt till grund för vår snabba utveckling såväl som för vårt välstånd. De fossila bränslena eldas för att frambringa energi, och det är vid förbränningen som problemen uppstår. Då frigörs nämligen allt det kol som legat lagrat i årmiljoner och som då avgår i form av koldioxid till atmosfären. Vi stör då det nutida kretsloppet av kol. Eftersom kolet den här tiden har stått utanför systemet innebär det att systemet, alltså främst vegetationen och växtplankton, inte hinner göra av med allt kol som plötsligt tillförs. Detta resulterar då i att det blir en nettotillförsel, i det här fallet av koldioxid, vilket då medför att koldioxidhalten i atmosfären ökar ⁸.

Idag används fossila bränslen frekvent och i stora mängder över hela världen. Av världens totala energianvändning står de fossila bränslena för cirka 80 procent ⁷. Fossilt kol används främst till energiproduktion och bostadsuppvärmning medan oljan mestadels används som drivmedel inom transportsektorn där den utgör hela 95 procent av förbrukningen ⁷. Oljan är den kategori av fossila bränslen som står för den största totala förbrukningen och utgör ungefär 45 procent av den fossila energin världen över ⁷. Inom transportsektorn har oljeprodukterna visat sig vara väldigt svåra att ersätta vilket har medfört att de har blivit oerhört betydelsefulla i förhållande till andra energislag. Ungefär 75 procent av all förbrukning av fossila bränslen sker inom kategorierna energiproduktion, industrier och bostadsuppvärmning ¹¹. För ungefär sextio år sedan släppte människan ut omkring 7 miljarder ton koldioxid till atmosfären varje år ⁸. Utvecklingen, befolkningsmängden och välståndet och så vidare har allt sedan dess ökat med allt fler och allt större utsläpp som följd. Sedan 1980-talet har mer än hälften av människans samlade utsläpp ägt rum och idag släpper vi ut cirka 40 miljarder ton koldioxid per år ⁸. Som vi enkelt kan se på siffrorna så har människans årliga utsläpp av koldioxid ökat med 33 miljarder ton på sextio år. Den koldioxid som släppts ut till atmosfären kommer att utgöra en förstärkning av växthuseffekten i upp emot tusen år, eftersom bara en liten del av gasen netto lämnar atmosfären varje år.

Skogen är en kolsänka som snabbt kan förvandlas till en kolkälla

Som tidigare klargjorts är det främst förbränningen av de fossila bränslena som orsakar haltökningen av koldioxid i atmosfären. Samtidigt har det också nämnts att förändrad markanvändning också kan medverka till höjningen av atmosfäriskt koldioxid. Det är nämligen inte bara ur avgasrör och skorstenar som koldioxid och andra växthusgaser släpps

ut. Människans sätt att bruka skog och mark kan också ha sin bidragande orsak. Skogen är en så kallad *kolsänka* och det innebär att den har förmågan att minska mängden koldioxid i atmosfären och därigenom mildra växthuseffekten ⁸. Skogen binder med sin biomassa upp stora mängder kol som ursprungligen tagits från atmosfären i form av koldioxid. När människan sedan avverkar skogen utan att plantera ny frigörs detta kol och återgår till atmosfären. Planteras ingen ny skog kan inte koldioxiden bindas upp igen så att kretsloppet kan slutas vilket således leder till en nettotillförsel ¹. Visserligen kan avskogningens syfte vara att bereda plats för jordbruksmark, men de grödor som kommer odlas där kommer inte att kunna binda upp samma mängder koldioxid som skogen kunde. På så vis omvandlas skogen från kolsänka till kolkälla, alltså en nettotillförsel av koldioxid.

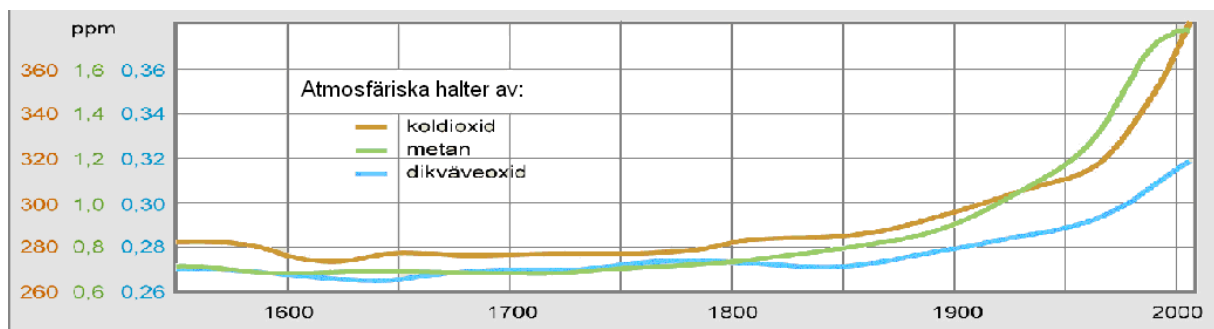
I marken, i jorden under träden, finns det dessutom ett ytterligare stort kolförråd (två till tre gånger så stort som det i atmosfären) i form av växt- och djurrester under nedbrytning. Dess kretslopp är dock långsammare än kretsloppet mellan träden och den ovanliggande atmosfären. I områden med höga grundvattennivåer kan också torv bildas. Både torven och mullen binder upp koldioxid. När människan bearbetar marken genom bland annat dikning, (som sänker grundvattennivån), ökar halten syre i jorden. Detta skyndar på nedbrytningen eller helt enkelt får den att ta fart igen, och när till exempel mullen och torven bryts ner frigörs koldioxid som avgår till atmosfären. Koldioxid frigörs också när torv omhändertas av människan för att förbrännas i energisyrte. Takten på avskogning har inte minskat under årens lopp och under de senaste 150 åren har den globala skogsarealen minskat med så mycket som en femtedel ¹¹. I dagens takt försvinner årligen mellan 0,5 och 0,75 procent av regnskogarna i tropikerna ¹. På grund av detta har en stor nettotillförsel av koldioxid till atmosfären skett. Avskogning och andra förändringar i markanvändningen stod för ungefär en femtedel av den mängd koldioxid som tillfördes atmosfären under 1990-talet ¹¹.

Metan, lustgas och HFC-föreningar – gaser med stor uppvärmningspotential

I atmosfären förekommer också andra växthusgaser än koldioxid. Några av dem har genom tiden förekommit naturligt i atmosfären och vissa av dem är artificiella, alltså skapade av människan. Liksom koldioxid släpps de också ut i atmosfären genom människans aktiviteter och bidrar till att växthuseffekten förstärks. De atmosfäriska halterna av dessa föreningar är väsentligt mycket lägre jämfört med koldioxid, men likväl har de en mångfalt större uppvärmningspotential (GWP – Global Warming Potential)) räknat per massenhet i förhållande till samma massa koldioxid. Metan och dikväveoxid (lustgas) är två föreningar som förekommer naturligt i atmosfären. Halterna av dessa var ganska konstanta i åtminstone tusen år innan de började öka i början på 1800-talet ¹¹. Metanhalterna har sedan dess fördubblats och i dagsläget står metanen för en femtedel av den växthuseffekt som är orsakad av människan ¹. Dock tyder mätningarna av metanhalten på att ökningen mer eller mindre har avstannat ¹¹ och ligger för nuvarande på cirka 1,77 ppm ¹². Ungefär 40 procent ¹¹ av dagens metantillförsel till atmosfären kommer från naturliga källor som exempelvis våtmarker där

metan bildas genom nedbrytning av vegetation under syrefria förhållanden ¹. Exempel på antropogena utsläpp är risodlingar, idisslande boskap och sopdeponier. När kol och naturgas utvinns sker också metanutsläpp. I naturgasens fall kommer metan ut till den omgivande luften genom läckage, helt enkelt på grund av att den fossila gasen till stor del består av metan. I atmosfären har metan en livslängd på 12 år, vilket innebär att gasen finns kvar i atmosfären 12 år efter utsläppet. När det gäller dess uppvärmningspotential, GWP, har den ett värde på 23 ³ vilket då betyder att den är en 23 gånger så kraftfull växthusgas som koldioxid.

Hav och skogsmark är två stora naturliga källor för dikväveoxid ¹. Jordbruket är den största källan när det gäller de antropogena källorna, främst då genom att markerna kvävegödslas. Mindre sådana källor är industriprocesser och eldning av såväl fossila bränslen som biomassa. De antropogena källorna står för mer än en tredjedel av den dikväveoxid som förs upp i atmosfären ¹². Totalt svarar tillförseln av dikväveoxid för omkring 6 procent av den antropogent förstärkta växthuseffekten ¹. Halten av gasen har ökat med cirka 15 procent sedan början på 1800-talet ¹¹ och nu för tiden befinner sig halten på ungefär 0,32 ppm ¹². I nuläget ökar halterna alltjämt med 0,2-0,3 procent årligen ¹. Dikväveoxids livslängd i atmosfären ligger på omkring 114 år och dess uppvärmningspotential är 298 ¹¹. Hur halterna av koldioxid, metan och dikväveoxid har förändrats de senaste århundradena kan åskådliggöras i *Figur 2*.



Figur 2. Förändringen av de atmosfäriska halterna av koldioxid, metan och dikväveoxid under de senaste seklen.
Källa: Naturvårdsverket ¹¹

Vissa växthusgaser har människan själva skapat och släppt ut till atmosfären. *Flourklorväten* eller så kallade *HFC-föreningar* är exempel på sådana. De har under de senaste tio åren mer eller mindre ersatt sina föregångare *CFC-föreningarna* och *HCFC-föreningarna* (båda tillhörande gruppen *halogenerade kolväten*) som de är väldigt närbesläktade med ¹¹. Föregångarna fick väldigt stor industriell betydelse på grund av sina användbara egenskaper. Det är mycket stabila gaser som är reaktionsobenägna och varken korrosiva, brännbara eller giftiga ¹. De här gaserna har, och har haft, flera användningsområden. Drivgas i sprayflaskor, kylmedium i värmeväxlare (såsom kylskåp, frysanläggningar och luftkonditionering) och släckmedel i brandsläckare är några exempel där de används eller har använts ¹. De har kommit upp i atmosfären genom att det vid tillverkningen och användningen av dessa

föreningar sker ett visst läckage. Problemet med CFC- och HCFC-föreningarna var att de förutom att vara kraftiga växthusgaser även var ozonnedbrytande, vilket orsakade en uttunning av ozonlagret. Detta var väldigt omdebatterat i slutet av 80-talet och i början av 90-talet och produktionen av dem minskades under den här tiden kraftigt. Ozonlagrets uttunning hejdades därmed och idag indikerar observationer att en återhämnning har börjat ske ¹¹. HFC-föreningarna är ersättare som inte är ozonnedbrytande. De må spara ozonskiktet, men inte klimatet då de fortfarande är kraftiga växthusgaser. Sett som växthusgas är de per molekyl tusentals gånger effektivare än koldioxid (GWP upp till 14800 beroende på variant av HFC-förening). HFC-föreningarnas livslängd i atmosfären varierar mellan 1-270 år ¹¹.

Statistik och mätningar under de senaste fyrtio åren visar att utsläppen av växthusgaser ökade med så mycket som 70 procent under perioden 1970-2004 ¹⁴. I *Tabell 2* kan ökningen inom olika sektorer åskådliggöras. Räknat för varje enskilt sektor visade det sig att *energiproduktionen* stod för den största ökningen under perioden i fråga.

Tabell 2. Olika sektors globala ökning av växthusgasutsläpp under perioden 1970-2004

Källa: Naturvårdsverket¹⁴

Sektor	Procentuell ökning
Energiproduktion	145
Transport	120
Industri	65
Markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk	40

Partiklars inverkan på växthusgasernas effekter

Det har under åren funnits en diskussion huruvida effekterna av den antropogena tillförseln av växthusgaser delvis har mörkats av förekomsten av partiklar i atmosfären. Som tidigare nämnts medför atmosfärisk förekomst av ljusa partiklar, såsom sulfatpartiklar, att det inkommande solljuset reflekteras eller sprids, vilket i stor utsträckning kan resultera i att mindre solljus når jordytan och kan medverka till uppvärmningen. Forskarna menar att dessa därigenom har haft en avkylande verkan på jordytan och att växthusgasernas verkliga klimateffekter delvis därför har dolts ¹¹. Uppvärmningen borde ha varit större än den faktiskt är. Teorierna uppkom när klimatforskarna började utföra beräkningar på temperaturhöjningen. Beräkningarna överensstämde bättre med de verkliga förhållandena när partiklarnas inverkan också inkluderades. Människans användning av fossila bränslen medförde länge ett visst utsläpp av svaveldioxid i samband med förbränningen. Dessa utsläpp har resulterat i att atmosfären har fått ett betydligt högre innehåll av sulfatpartiklar i förhållande till

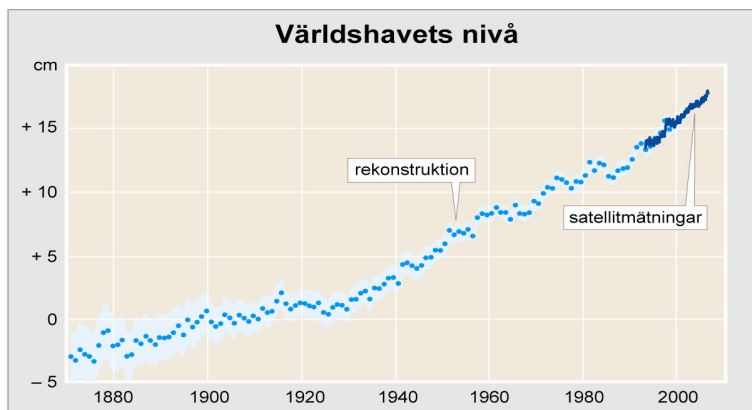
förindustriell tid. Bevis för teorierna om partiklarnas inverkan kan hittas i det faktum att uppvärmningen avstannade mellan åren 1945 och 1975 ¹¹, som var en period då industrierna i stor grad medförde ett större utsläpp av svaveldioxid än växthusgaser. Där utsläppen av svaveldioxid var som störst var effekterna på uppvärmningen också som tydligast. Hur mycket sanning det ligger i dessa teorier är emellertid svårt att avgöra eftersom det av flera anledningar är svårt att räkna ut den exakta påverkan från partiklarna. Dels därför att förekomsten av partiklar kan variera i både tid och rum då de inom vissa områden förekommer i större mängder än andra, och dels därför att beräkningar av partiklarnas faktiska inverkan på det inkommande solljuset försvåras på grund av att partiklarna förekommer i väldigt många olika former och storlekar.

Uppvärmningens effekter i modern tid

Människans samlade verksamheter har fått till följd att koncentrationen av växthusgaser i atmosfären tilltagit ordentligt. Den direkta följden av detta har blivit en genomsnittlig förhöjning av temperaturen runt om i världen, så kallad global uppvärmning. I en första anblick kan det tyckas att lite mer värme inte är så farlig. Speciellt hos befolkningen i jordens svalare länder, som Sverige till exempel, kan en temperaturökning upplevas som något välkommet. Den sanna verkligheten är dock bistrare, och de egentliga effekterna av uppvärmningen har blivit allt tydligare. Under årens gång har iakttagelser av den fysikaliska och biologiska miljön förekommit i allt högre grad och trenderna har blivit allt enklare att urskilja. De observerade trenderna kan med stor sannolikhet kopplas samman med förändringarna i klimatet. IPCC publicerade sin fjärde utvärderingsrapport år 2007, vari klimatförändringarna, deras orsaker och deras effekter behandlades grundligt. IPCC menar att det sedan publiceringen av deras tredje utvärderingsrapport år 2001 har skett en rejäl ökning av antalet observationer vilket har gjort dataunderlagen mer tillförlitliga ¹³. Därigenom har det kunnat ske en viss kvalitetssäkring av bedömningarna av sambandet mellan den förhöjda temperaturen och de observerade klimatförändringarna. Den fjärde utvärderingen från IPCC tar fokus på att många naturliga system påverkas av klimatförändringarna. Glaciärer smälter och antalet glaciärsjöar har därigenom blivit fler och allt större. Dessutom har det i hydrologiska system som försörjs med smältvatten från snötäcken gått att urskilja tydliga förändringar när det gäller avrinning och flödestopp på våren ¹³. I områden där marken är utsatt för *permafrost* (vattnet i marken är fruset året om ⁶) och därmed aldrig tinar under året, har uppvärmningen medfört att det har uppkommit tecken på förhöjd markinstabilitet. Observationer har också visat en artutbredning mot polerna och i höjdled. Listan på effekter som sannolikt beror på den globala uppvärmningen kan göras lång och på de närmast kommande sidorna kommer det att redogöras för de största och mest tydliga av dem.

Stigande havsnivå – inte bara ett resultat av smältande glaciärer

En av de mest omtalade konsekvenserna av uppvärmningen är en stigande havsyta (se *Figur 3*). Den allmänna uppfattningen brukar emellertid vara att det beror på att polarisarna smälter, vilket inte riktigt är helt korrekt. När Arktis, som består av havsisar vid nordpolen, smälter förändras inte havsnivån. Det beror på att isarna inte vilar på någon landmassa eller berggrund utan ligger fritt i havet. Isarna tränger undan en specifik mängd vatten och om dessa smälter så motsvarar det smälta vattnet den volym som den frusna massan trängde undan och således höjs inte havsytenivån ¹. Samma sak gäller för havsisarna som finns i närheten av eller ligger i anslutning till Antarktis. För världens glaciärer samt inlandsisarna på Antarktis och på Grönland å andra sidan gäller andra principer. Dessa vilar på berggrunden och tränger på så vis inte undan någon mängd vatten. Smälter dessa kommer vattnet förr eller senare att ledas ut i havet och där bidra till dess totala volym och när vatten på detta sett omfördelas mellan land och hav höjs havsytan. Havsytns totala nivå steg med drygt åtta centimeter mellan åren 1961-2003 ¹². Mycket noggranna satellitmätningar visade att stigningen efter år 1993 dock accelererade och har nu kommit upp i en takt som är nästan dubbelt så snabb som den var under 60-talet och åren därefter ¹². Avsmältningen av glaciärer och inlandsisar är dock inte den största orsaken till att världshavens nivå höjs. Av stigningen som skett sedan år 1993 är det bara omkring en fjärdedel ¹² som kan förklaras av detta. Den hittills största orsaken till stigningen grundar sig i termisk utvidgning av vattenmassorna.



Från IPCC (2007), Univ. of Colorado och *En ännu varmare värld* (Monitor 20), Naturvårdsverket

Figur 3. Stigningen av havsnivå

När klimatet blir varmare värms även vattenmassorna upp vilket leder till att de utvidgar sig och därmed tar upp mera plats. På så sätt höjs vattennivån. Medeltemperaturen i vattenmassorna ner till omkring 700 meters djup har sedan 60-talet blivit högre. Det rör sig dock bara om en genomsnittlig ökning på en tiondels grad, men trots det har det fått tydliga effekter genom förhöjd havsnivå. I och med att uppvärmningen sprider sig från ytan och neråt i djupet blir det en allt större mängd vatten som expanderar och därigenom medverkar till havets stigning. Uppvärmningen har som tidigare nämnts tilltagit i allt större grad med åren

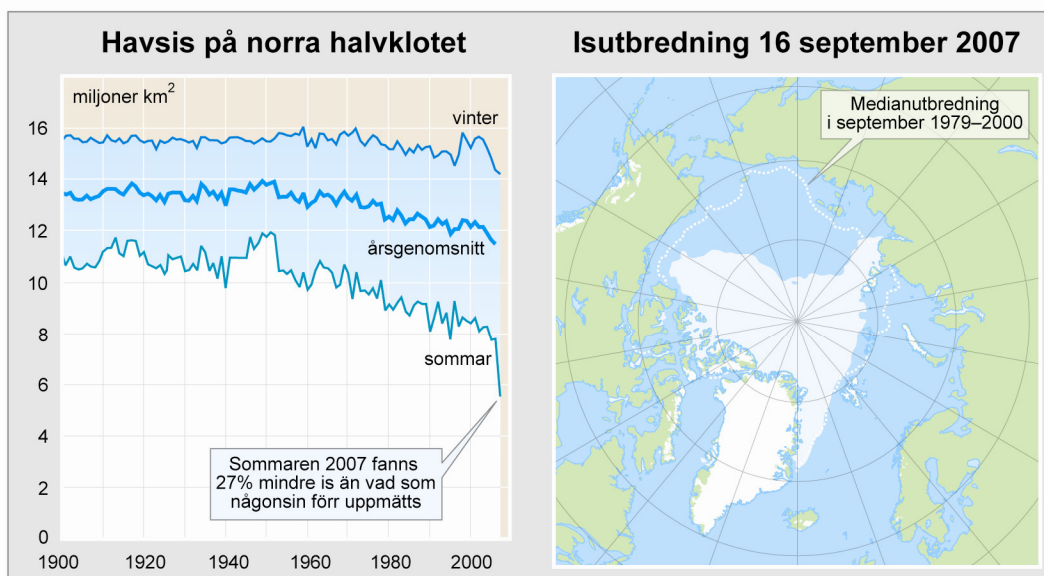
och allt mer vatten har därmed expanderat. Det tros till åtminstone femtio procent förklara accelerationsökningen som observerades efter år 1993 ¹¹.

Tabell 3. Olika faktorerers beräknade bidrag till höjningen av havsnivån samt den direkt observerade höjningen.
Källa: IPCC, 2007 och Naturvårdsverket ¹²

Orsak till stigningen	Stigningen av havsnivån (mm per år)	
	1961-2003	1993-2003
Termisk expansion	0,42 ± 0,12	1,6 ± 0,5
Glaciärer och istäcken	0,50 ± 0,18	0,77 ± 0,22
Grönlands inlandsis	0,05 ± 0,12	0,21 ± 0,07
Antarktis inlandsis	0,14 ± 0,41	0,21 ± 0,35
Summan av enskilda faktorerers beräknade bidrag	1,1 ± 0,5	2,8 ± 0,7
Sammanlagd observerad höjning (vattenståndsmätare innan 1993 och satellitmätningar efter 1993)	1,8 ± 0,5	3,1
Att det råder en skillnad mellan summan av de enskilda faktorernas bidrag och den totala observerade höjningen beror på att det har använts olika metoder för beräkningarna av de enskilda bidragen – exempelvis temperaturrelaterade modeller för isflöden och vattnets termiska expansion.		

Stora delar av jordens ismassor riskerar att försvinna helt

Ett allt varmare klimat riskerar att medföra att jordens ismassor smälter i allt högre takt. Som observationerna ^{11 5} visar finns det många tecken som tyder på detta. Tidigare islossning, kortare varaktighet av snö, reducerade arealer av snötäcken, minskat snödjup, allt större mängder smältvatten från bergstrakter och så vidare. På bara ett decennium under 80-talet till 90-talet, minskade tjockleken på Arktis isar med i genomsnitt en meter och *Alpernas* glaciärer befaras vara mycket mindre än de varit på åtskilliga tusen år ¹¹. De beräknas ha krympt till en tredjedel av dess utbredning år 1850 och även ha förlorat drygt hälften av sin volym ⁵. Krympningen av havsisarna på Nordpolen kan åskådliggöras i *Figur 4*. I det redan varma Afrika går förloppet ännu snabbare. De berömda snöklädda topparna på bergen *Kilimanjaro* och *Mount Kenya* krymper så fort att de riskerar att ha försvunnit helt runt år 2025 ⁵.



Från NOAA, W. Chapman, National Snow and Ice Data Center samt *En ännu varmare värld* (Monitor 20), Naturvårdsverket

Figur 4. Nordpolens havsisar smälter

Klimatforskare befarar att en fortsatt uppvärmning är trolig även om utsläppen av växthusgaser kraftigt reduceras och koncentrationen av växthusgaser i atmosfären stabiliseras. Det på grund av att de till följd av sin levnadstid i atmosfären kommer att fortsätta att bidra till växthuseffekten⁸. På så vis kan avsmältningen av isarna fortsätta. Om det i förhållande till den förindustriella temperaturnivån sker en genomsnittlig global temperaturökning på mellan 1,9 och 4,6 °C, riskerar hela den Grönländska inlandsisen att smälta bort inom loppet av några tusen år. Detta skulle bidra till att havsytan stiger med så mycket som sju meter¹². När utbredningen av snö- och istäckta områden reduceras finns det ytterligare en aspekt att ta hänsyn till, nämligen att jordens totala albedo minskar. Som redogjordes för i samband med strålningsbalansen så har ljusa ytor högt albedo, alltså stor förmåga till reflektion av inkommande solljus. När arealen is och snö minskar tappar jordytan också en del av sin reflekterande förmåga och därmed kommer mer solljus att kunna absorberas vilket resulterar i att det bli ännu varmare. Således inleds en ond cykel. Avsmältningen blir allt större och havsytan blir allt högre till följd av både en ökad mängd smältvatten och mer omfattande expansion av havsvattnet. När Arktis havsisar smälter höjs alltså inte havsnivån direkt. Dock kan havsnivån därigenom stiga på en indirekt väg genom att jordens reflektionsförmåga blir sämre och klimatet på så sätt blir varmare.

På ett fåtal platser behöver ett varmare klimat till en början inte bidra till att mer snö smälter, utan snarare tvärt om. Nyare forskning tyder på att Antarktis gigantiska ismassor troligen skulle kunna binda in ännu mer vatten genom att det varmare klimatet skulle medföra att den varmare luften förde med sig ännu mer nederbörd in över den istäckta landmassan¹. I och

med att temperaturen på Antarktis i första taget inte kommer att kunna dra sig över fryspunkten så kommer nederbörden sålunda att bidra till en tillväxt av ismassorna.

Permafrosten i norr reduceras – risk för metangasläckage

Precis söder om de norra polarområdena finns en landremsa som mer eller mindre sträcker sig runt hela jordeklotet (se *Figur 5*) och som kallas *tundra*. Här råder polarklimat under större delarna av året och medeltemperaturen överstiger inte 10 °C ens under årets varmaste månad¹⁵. Klimatet här är kargt och tundran är skoglös. Detta beror till stor del på den permafrost som råder i marken. Det innebär att marken mer eller mindre är frusen året om. Den allra översta delen av marken kallas det *aktiva lagret*³ och kan sträcka sig allt mellan en cm till en meter ner i marken. Det kallas det aktiva lagret eftersom det i viss mån tinar under sommaren vilket tillåter åtminstone mindre växter att tillfälligt växa här.



Figur 5. Tundrans utbredning på det norra halvklotet

Källa: Wikipedia

I vanliga fall är det som kallast i de övre marklagren av tundran och sedan blir det varmare ju längre ner man kommer till följd av den geotermiska värme som stiger upp från jordens inre³. Den här situationen håller emellertid på att förändras på grund av den globala uppvärmningen. Markerna håller på att tina i en allt snabbare takt och permafrosten försvinner allt mer. Detta beror dels på själva temperaturhöjningen men också till stor del på områdenas minskade albedo till följd av reducerade snö- och istäcken vilket gör att markytan kan absorbera mer solstrålning och därigenom bli varmare¹⁵. Det uppkommer ett seriöst problem när detta sker. De växter som klarar av att leva under den tid då det aktiva lagret tillfälligt tinar hinner inte genomgå fullständig nedbrytning då de dött på grund av att resterna täcks, packas och lagras i permafrosten när marken återigen fryser. Denna ständigt återkommande process har medfört att det under tidens gång har hunnit bildas lager av dessa rester nere i marken, rester som med tiden har omvandlats till metangas. När permafrosten nu reduceras och marken tinar även längre ner i de djupare lagren frisätts dessa källor av metangas som tidigare legat infrusna och därmed avspärrade från omgivningen. De får då kontakt med

atmosfären och metangasen börjar läcka ut. Gasen stiger upp i atmosfären där den i relativt hög grad bidrar till den förstärkta växthuseffekten ¹⁵.

Att permafrosten innebär inte bara ett problem genom läckagen av metangas, utan gör också att markinstabiliteten ökar. Marken har under människans levnad alltid varit hård och frusen men när den nu tinar blir den mjukare. Framförallt i Ryssland uppstår det då en hel del problem med vägar, byggnader och pipelines ¹⁵.

Extrema temperaturer riskerar att orsaka de största problemen

I diskussionerna kring klimatet brukar man ofta tala om den globala medeltemperaturen. Forskarna menar att en förhöjning av denna, även om det bara rör sig om några få grader, skulle kunna få dramatiska effekter, för klimatet i sig såväl som för hela mänskligheten. Det är emellertid inte den direkta medeltemperaturen som kommer att orsaka problem för människan och jordens övriga invånare. Om ett område vanligen har en sommartemperatur på 15 °C överlever växter och djur troligen också om medeltemperaturen skulle öka så att sommartemperaturen istället brukar ligga omkring 18 °C; så här mycket kan ju temperaturen redan variera år från år. Även samhället och dess funktioner skulle klara en sådan förändring. Det är istället de nya extremtemperaturerna som kommer att vålla problem. Om medeltemperaturen stiger kommer också minimivärdena och maximivärdena med största sannolikhet att stiga ¹¹. Klimatförändringarna skulle därmed kunna ge upphov till vädersituationer som inte förekommit förut. För växter och djur kan det uppstå svåra situationer vid en ovanligt het sommarperiod. Värmestress och, vattenbrist kan då vara uppkommande faktorer som i stor utsträckning sätter deras liv på spel. Om värmenivåerna i och med uppvärmningen stiger så att maximitemperaturerna blir ännu mer extrema kan konsekvenserna för organismerna bli fullständigt förödande. Har de redan svåra överlevnadsproblem vid en temperatur på 35 °C kan en ökning på omkring 4-5 grader så att de nya förekommande extremvärdena kommer upp mot 40 °C innebära döden. För människan och hennes verksamheter kan extrema temperaturer redan i vanliga fall medföra omfattande problem för samhället. Förhöjda extremtemperaturer skulle då förvärra sådana problem ytterligare och göra dem ännu mer omfattande så att de förmodligen drabbar ännu fler. Torka är ett vanligt exempel som ställer till problem i varma länder. I dagsläget resulterar torrperioderna i bland annat svåra situationer för jordbruket, genom uteblivna skördar, och påtagliga vattenbrister. Följderna riskerar att bli svåra med brist på både föda och dricksvatten. Skulle torrperioderna bli ännu längre och hetare kan det leda till att ännu fler människor dukar under, speciellt där vattenbrist redan är ett betydande problem.

På motsvarande sätt kan en förhöjd medeltemperatur även få konsekvenser på de nordligare delarna av jordklotet, om än inte i lika stor omfattning. För exempelvis Sverige skulle jordbruket till en början gynnas till följd av att det i genomsnitt blir varmare i och med att det i nuläget är för kallt på många platser för att jordbruk ska kunna vara möjligt. Varmare

temperaturer skulle å andra sidan också kunna få till följd att mängden nederbörd reduceras och då skulle svårigheter antagligen uppstå för både jordbruket och den existerande floran och faunan. För de sistnämnda kan de förhöjda temperaturerna, framför allt extremtemperaturerna, leda till att det blir svårare för just dessa arter att fungera och överleva, då de inte är anpassade till de varmare förhållandena. De arter som lever på nordligare breddgrader idag skulle få allt svårare att klara sig och skulle kanske konkurreras ut och ersättas av andra arter som är anpassade till varmare förhållanden.

Svåra hälsoproblem hos människor – en konsekvens av de extrema temperaturerna

Extremtemperaturerna kan som sagt innebära försvårade levnadsförhållanden för oss människor genom bland annat hårdare torrperioder med mat- och vattenbrist som följd. Det här kan i sin tur leda till väsentligt mer komplicerade hälsosituationer hos befolkningen, framför allt i länder där levnadsstandarden och anpassningsförmågan är låg. Miljontals människor kan komma att drabbas av ökad frekvens av undernäring och uttorkning och därtill relaterade sjukdomar. Barn står speciellt i riskzonen. Dödsfallen kommer troligen att öka markant, men inte bara på grund av detta utan också till följd av värmeböljor, översvämningar, stormar, bränder och torka ¹³. Som tydligt exempel ledde en ovanligt kraftig och ihållande värmebölja i Europa år 2003 till att många människor fick sätta livet till. I Paris låg temperaturen på över 35 °C i tio dagar i sträck ⁸. Totalt orsakade den långvariga hettan omkring 35 000 dödsfall i Europa den sommaren, däribland främst gamla och sjuka.

Kraftiga oväder tycks bli allt vanligare

Vintern år 2005 ¹¹ respektive sensommaren år 2005 ⁸ drog orkanerna *Gudrun* och *Katrina* in över Sverige respektive södra USA och orsakade stor förödelse där de drog fram. De är inte de enda kraftiga väderfenomenen som har uppstått under de senare åren. Ovädren tycks bli allt kraftigare och börjar förekomma på platser där de förut varit ovanliga eller aldrig tidigare förekommit. År 2004 bildades en cyklon utanför Brasiliens östkust, och det var den första som någonsin observerats i de södra delarna av Atlanten ⁸. Havsvattnet har tidigare varit för kallt för att de skulle kunna uppstå, men cyklonen som uppstod är ett bevis för att vattenmassorna troligen har blivit varmare. Beräkningar har utförts och de visar att förekomsten av tropiska cykloner skulle öka med cirka sjuttio procent om temperaturen i havets ytskikt skulle stiga med en grad Celsius ¹. I och med ökad temperatur tros ökad koldioxidhalt i atmosfären kunna flytta upp det hydrologiska systemet ett steg i Sydostasien så att mängden nederbörd och graden av avdunstning ökade. Därigenom skulle det troligen kunna uppstå allt fler och kraftigare monsuner, något som skulle förstärka översvämningensrisken väsentligt.

Klimatförändringarna hotar ekosystem världen över

Människan och hennes aktiviteter har länge inneburit en oerhörd påfrestning på jordens naturliga ekosystem. Speciellt i väldigt tätbefolkade områden har belastningen blivit så stor att

ekosystem riskerar att gå under och kanske rentav redan gjort det i vissa fall. Odling, betesmarker, bebyggelse, skogsbruk och annan exploatering har varit nödvändiga för vår levnad och utveckling men har medfört konsekvenser för naturmiljön ¹¹. I dessa sammanhang brukar det talas om ekosystemens motståndskraft ¹³, alltså hur stora påfrestningar de klarar av innan de tar allt för stor skada och börjar gå förlorade. På grund av den allt snabbare befolkningsökningen (då allt större befolkning medför allt större påfrestningar) tillsammans med klimatförändringarna tror forskarna att den här motståndskraften hos många ekosystem förmodligen inte kommer att räcka till under det här århundradet ¹³. Ekosystemen har inte utsatts för den här kombinationen av frekventa störningar – såsom torka, översvämningar, försurning av havet och därtill följande effekter – förut under så kort tid. Dessutom utsätts de för andra av människan orsakade faktorer såsom föroreningar, överexploatering av resurser och förändrad markanvändning. Allt detta kommer att skapa ohanterliga stressituationer för ekosystemen som de befaras att inte klara av ifall de nyss nämnda situationerna blir för omfattande.

Ifall den globala medeltemperaturen fortsätter att stiga riskerar många arter av såväl växter som djur att utrotas. Om ökningen blir större än 1,5-2,5 grader Celsius höjs antagligen risken för utrotning hos så mycket som 20-30 procent av arterna ¹³. Det varmare klimatet tros ge svåra konsekvenser för ekosystemen. Annorlunda funktion och struktur hos dem kan komma vilket kan innebära att arternas samspel och geografiska utbredning samtidigt förändras. Redan nu kan man se tecken, både på land och i det marina, på att detta är på väg att ske då det blir allt varmare på högre breddgrader. Det hör givetvis ihop med huruvida arter är anpassade för varma eller kalla klimat och dess ekosystem. Det medför att vissa arter, anpassade för temperade naturtyper och ekosystem, vandrar eller expanderar norrut (och i höjdd) medan andra arter som är anpassade till de lite kyligare ekosystemen och redan lever på nordligare breddgrader trängs undan och riskerar att försvinna. Tydligt exempel där den biologiska mångfalden drabbas negativt är självklart ekosystemen nära nordpolen som inom en förhållandevis snar framtid löper stor risk att försvinna. Vad händer då med alla isbjörnar? Men mångfalden kan också påverkas positivt. Ett tecken på detta är den ökade utbredningen och förekomsten av plankton, alger och fisk som har kunnat observeras i sjöar och hav på högre breddgrader samt i högre belägna sjöar ¹³.

Korallerna riskerar att gå under

I slutet av 1990-talet var korallreven ett hett ämne inom klimatdebatten. Det rekordvarma året 1998, med sin temperaturhöjande verkan på havet, ledde till att omkring en sjättedel av de revbildande korallerna dog. Koraller är nämligen väldigt känsliga och den ökande temperaturen i havet blir oerhört stressande för dem, vilket den så kallade korallblekningen är ett tydligt symptom på ¹¹. Därför skulle en fortsatt temperaturökning i haven kunna leda till att en stor del av världens alla koraller dör ut. Det är tyvärr inte bara uppvärmningen i sig som kan medföra konsekvenser för korallerna. Den förhöjda mängden koldioxid i atmosfären har

lett till ett ökat upptag i haven där en del omvandlas till kolsyra¹¹. Således försuras haven och det får negativa följder för korallerna och andra organismer med skal eller skelett som är uppbyggda av kalk. Deras kalkbildning försvåras då vattnet blir surare och blir surheten allt för stor omöjliggörs den till och med.

Klimatpolitiken och åtgärder för att få bukt med problemet med den globala uppvärmningen

Klimateffekterna på naturmiljön blir allt tydligare. Med största sannolikhet känner vi till varför de sker. Vi vet att det är vi människor som med våra aktiviteter och förehavanden bär skulden till dem. Vi vet också att vi är de enda som har kunskapen och förmågan att göra någonting åt dem. Den globala uppvärmningen är ett verkligt hot mot vår planet och dess invånare, och måste tas på allvar och med beaktande. Klimateffekterna får upp ögonen på fler och fler människor och de ligger numera högt upp på många politiska agendor. Vad kan man då göra för att få bukt med den globala uppvärmningen? I och med att det först och främst är människans utsläpp av växthusgaser, framför allt koldioxid, som orsakar att växthuseffekten förstärks, handlar de flesta idag existerande lösningarna om att just försöka reducera utsläppen. Forskarna och många beslutsfattare är emellertid medvetna om att reduceringarna av utsläppen måste vara kraftiga och allra helst världsomfattande för att det ska finnas en chans till att övervinna eller i alla fall mildra problemet. Åtgärder har idag börjat vidtas, på många platser i större utsträckning än på andra. Många förslag och idéer finns, och nya utvecklas regelbundet. Många har realiserats, men samtidigt har många visat sig vara allt för svåra eller dyra att genomföra. Teknikutvecklingen bär delvis på nyckeln till problemet. Miljövänlig teknik efterfrågas allt mer, inom vissa områden har det också mer eller mindre utvecklats till ett tvång att använda den. Allt från att använda förnybara kraftkällor som vattenkraft, solkraft och vindkraft till att försöka finna alternativ med potential att ersätta oljan som drivmedel (biogas, etanol och elektricitet är några exempel). Det handlar också om att utveckla allt bättre rening av de utsläpp som görs. Partiklar och försurande föreningar såsom svaveldioxid är några exempel som tekniken har lyckats med att rena bort. När det gäller rening av koldioxiden har det dock inte hittats en hållbar lösning ännu. Det finns emellertid idéer till lösningar, såsom så kallade ”kolfällor”. De grundar sig på en teknik där koldioxiden separeras från förbränningsgaserna och förs undan för omhändertagande och lagring i till exempel geologiska formationer under markytan. Tekniken är dock dyrbar och det finns risk för läckage från koldioxidlagren. På det stora hela har det visat sig vara lättare sagt än gjort att begränsa utsläppen. Något som ligger centralt inom problematiken, är *miljö- och klimatpolitiken*.

Klimatförändringarna är ett problem som berör hela världen och av den anledningen är de också en internationell angelägenhet. Som tidigare nämnt bedrivs mycket miljöarbete och

forskning genom FN: s klimatpanel *IPCC*. Dock har IPCC inget med klimatpolitiken att göra mer än att förse beslutsfattare, politiker och allmänhet med beslutsunderlag och fakta som rör området i fråga. Under många år var det framför allt USA som var drivande när det gällde miljöfrågor men under de senaste två decennierna är det EU som först och främst har övertagit den rollen och som idag bedriver ett omfattande miljöarbete. Direktiv (bindande beslut), information, forskning och utveckling är bara några metoder och områden varigenom de bedriver miljöarbetet ⁷. Inom miljöområdet har de också en väldigt betydande roll som initiativtagare och finansiär inom forskningen och utvecklingen. I och med att EU har tagit på sig den ledande rollen för miljöpolitiken och arbetet mot klimatförändringarna visar man att viljan finns. EU menar att det framför allt är de industrialiserade länderna som ska bära fanan och åtgärda de miljöproblem som de i största mån faktiskt också har orsakat ⁴. De industrialiserade länderna har kunskapen men framför allt har de resurser som krävs för att kunna agera. EU: s vision och åsikt är att agera långsiktigt och att industriländerna bör ålägga sig att reducera utsläppen med 60-80 procent fram till år 2050 jämfört med 1990 års nivåer ⁴.

Kyotoprotokollet – en internationell handlingsplan

EU har redan tagit ett stort steg i riktning mot att kraftigt reducera utsläppen fram till år 2050. Vid ett klimatmöte år 1997 i Kyoto lyckades EU och en rad andra länder att enas om en gemensam handlingsplan för att minska utsläppen av koldioxid och fem andra växthusgaser. Handlingsplanen kom att kallas för *Kyotoprotokollet* och går i stort ut på att de länder som godkänt och skrivit under protokollet fram till, och under, perioden 2008-2012 ska ha lyckats genomföra betydande reduktioner av utsläppen. Därigenom hoppas man uppfylla det långsiktliga målet att undvika att den globala medeltemperaturen stiger med mer än två grader Celsius jämfört med förindustriella nivåer ⁴. De uppställda kraven för att protokollet skulle kunna träda i kraft var att minst 55 länder skrev under och att dessa länder stod för minst 55 procent av industriländernas utsläpp ⁷. Till en början uppstod ett problem genom att Ryssland och USA valde att stå utanför. Tillsammans svarar dessa två länder för mer än femtio procent av industriländernas utsläpp och när de inte valde att skriva på blev det svårt att uppfylla det andra kravet. Lyckligtvis valde Ryssland att skriva under år 2004 varefter protokollet kunde träda i kraft. År 2007 hade 175 länder godkänt ⁷ protokollet och arbetet är i dagsläget i full gång. USA har fortfarande inte godkänt protokollet. Enligt protokollet ska utsläppen från de industrialiserade länderna minska med minst fem procent ⁷ till år 2012 jämfört med 1990 års utsläppsnivåer. EU å sin sida har valt att öka unionens krav till minst åtta procent inom samma tidsram ⁴. Kyotoprotokollet är bara ett första steg i ett internationellt agerande mot uppvärmningen. Bortom år 2012 är det meningen att nya handlingsplaner, avtal och riktlinjer ska ta vid där Kyotoprotokollet upphör. Det nuvarande protokollet och arbetet med att uppnå dess mål ska lägga grunden för att kunna uppnå de mer långsiktliga kyotomålen, nämligen att utsläppen år 2020 ska ha kunnat minska med tjugo procent jämfört med 1990 års nivåer för att nivåerna år 2050 sedan ska ha kunnat halveras ⁴.

Åtgärder för att uppnå Kyotoprotokollets mål

För att Kyotoprotokollets mål skulle kunna uppnås var de länder som skrivit under protokollet överlag tvungna att göra förändringar och vidta åtgärder för att reducera utsläppen av koldioxid. Förändringarna och åtgärderna kan omfatta allt från ändrad levnadsstil till införandet av skatter för koldioxidutsläpp. Dessa grundar sig helt och hållet på politiska beslut. I det här avsnittet kommer några konkreta åtgärder att presenteras.

Styrmedel för att reducera utsläppen och reducera klimatpåverkan

I framför allt Sverige har det främsta verktyget för att minska klimatpåverkan varit *skatter* och andra *styrmedel* (Tabell 4). Energiområdet har varit det främsta området att tillämpa dessa verktyg inom. Energisparande, energieffektivisering, effektiv energiteknik och förnybar energi har varit viktiga ledord inom arbetet.

Tabell 4. Olika typer av styrmedel

Källa: data från Energimyndigheten ⁷

Huvudgrupper av styrmedel			
Ekonomiska	Administrativa	Information	Forskning
Skatter	Regleringar	Upplysning	Forskning
Stöd, bidrag, subventioner	Gränsvärden för utsläpp	Rådgivning	Utveckling
Pant	Krav på bränsleval och energieffektivitet	Utbildning	Demonstration
Handel med utsläppsrätter	Långsiktliga avtal	Opinionsbildning	Kommersialisering
Handel med certifikat	Miljöklassning		Upphandling

För att styra utvecklingen på miljö- och klimatfronten har Sverige något som kallas för energibeskattnings. Det är ett ekonomiskt styrmedel som innefattar koldioxidskatt, energiskatt och svavelskatt. Dessa har gjort det möjligt att på ett samhällsekonomiskt effektivt sätt begränsa påverkan på klimatet ⁷. Huvudsyftet med energibeskattningsen var till en början att ge staten intäkter, men har idag förändrats och avser idag att främja energieffektivisering och användande av biobränslen samt att utgöra en morot för företagen att minska sin miljöbelastning och skapa en större efterfrågan på inhemsk, miljövänligt producerad elektricitet. De fungerar idag så att en förorenare betalar en viss skattesats på en viss mängd utsläppt koldioxid och svavel. Skatterna varierar sedan beroende på om utsläppen kommer från drivmedel eller från uppvärmningssyfte, om de kommer från hushåll eller industrier. De medför naturligtvis att det blir dyrare för en privatperson eller ett företag att släppa ut dessa gaser, alltså får de helt enkelt betala för att de inte är miljövänliga. Intäkterna medför ett avsevärt tillskott i statskassan (Tabell 5). Som tabellen visar kostar bensen både ur energisynpunkt och också koldioxidsynpunkt, vilket antagligen har medfört att användningen

av bensen också har minskat; energimyndigheten befarar att bensinkonsumtionen i Sverige skulle ha varit omkring dubbelt så stor idag om skatterna hade varit lika låga som i USA⁴. Samtidigt ska det löna sig att vara skonsam mot miljön och därför har staten bland annat infört skattelättnader på biobränslen eller andra förmåner för att vara miljövänlig. Staten ger också ekonomiska stöd till miljö- och klimatinvesteringar och satsningar på förnybar elproduktion⁷.

Tabell 5. Svenska intäkter från energiskatter efter energi- och skatteslag (år 2006)

Källa: data från Energimyndigheten⁷

Energislag	Intäkter (miljoner kronor)			
	Energiskatt	Koldioxidskatt	Svavelskatt	Totalt
Bensin	14 588	10 879		25 467
Oljeprodukter	4 689	13 702		18 391
Råtallolja	16			16
Övriga bränslen	75	976		1051
Samtliga bränslen			83	83
Elkraft	19 015			19 015
Produktionsskatt, el från kärnkraft	3 089			3 089
Totalt	41 472	25 557	83	67 112
Andel av statens skatteintäkter				9,0 %
Andel av BNP				2,5 %

Energiskatter är som sagt något som framför allt utnyttjas i Sverige. Det beror förmodligen på den svenska befolkningens relativt positiva inställning till skatter. Att energiskatter inte används i lika stor utsträckning i andra europeiska länder beror helt enkelt på att dessa länders invånare är betydligt mindre positiva till skatter i jämförelse med svenskar, vilket undersökningar har visat⁴.

Det finns också andra former av styrmedel som används frekvent för att främja klimatmålen. Ett av dem går ut på att gynna utvecklingen av energieffektiv teknik, nämligen *teknikupphandling*. Den används för att hjälpa ny effektiv teknik att spridas för att på så sätt kunna få till en marknadsomställning och därigenom bidra till ett miljövänligare samhälle. Det fungerar som en form av tävling mellan tillverkare som får lämna in sina bidrag som sedan testas och utvärderas. Sedan utses en eller flera "vinnare" som då får hjälp med marknadsintroduktion och en garanti om en första beställningsvolym av den nya produkten. Dessutom ser man till att information om den nya produkten sprids⁷.

Handel med utsläppsrätter – det viktigaste styrmedlet ur internationell synpunkt

Ett omfattande instrument för att reducera utsläppen av koldioxiden är att sätta en global prislapp på koldioxiden och sedan utföra handel med den. Principen bygger på att den som vill släppa ut koldioxid också får betala för sig medan den som inte vill, eller behöver, släppa

ut växthusgasen kan tjäna pengar på den. Det som handeln omfattar är helt enkelt rättigheten att släppa ut koldioxid, och därför sker handel med just så kallade *utsläppsrätter*. Dessa finns det möjlighet att både köpa och sälja. I EU har systemet med utsläppsrätter blivit det viktigaste instrumentet för att minska utsläppen av koldioxid och därigenom uppnå de klimatmål som ställts upp i Kyotoprotokollet ⁸. Att på så sätt prissätta koldioxiden startar en omfattande reaktionskedja. Strävan är då att det ska vara dyrare att producera klimatskadliga varor i jämförelse med miljövänliga. Ett företag som släpper ut koldioxid tvingas då också betala för sig och eftersom varje företag är vinstdrivande så försöker de dra ner kostnaderna av utsläppen genom att investera i ny miljövänligare teknik eller en utveckling av sådan. Om ett företag inte lägger om sin produktion på ett sådant sätt kanske de tvingas höja priserna på sina produkter eller tjänster för att på så vis väga upp kostnaderna av utsläppen. När priserna höjs känner konsumenterna att det blir för dyrt med dessa produkter och efterfrågan på klimativänliga produkter och tjänster höjs då som en följd. För att ett sådant system ska kunna fungera i verkligheten krävs emellertid att det tillämpas i hela världen ⁸. Annars kan ett företag komma runt problemet genom att flytta sin verksamhet till ett land där det är gratis att släppa ut växthusgaser. Tyvärr är det något som faktiskt också sker i dag.

Utsläppssystemet bygger på att varje medlemsland sätter ett tak på det egna landets utsläpp som EG-kommissionen sedan bedömer och godkänner ⁷. Inom landet fördelas sedan dessa tillåtna utsläpp på ett antal utsläppsrätter som sedan delas ut till företagen. Dessa har sedan möjlighet att sälja sina rätter till någon annan som kan tänkas behöva utöka sina utsläpp och de som behöver släppa ut mer än deras utsläppsrätter tillåter får helt enkelt köpa några rätter av någon annan. På så vis hålls utsläppen inom en viss gräns och blir samtidigt en morot för företagen att förbättra sina vanor så att de kan tjäna mera pengar genom att sälja sina egna utsläppsrätter. Priset på utsläppsrätterna avgörs genom utbud och efterfrågan.

Förändringar av livsstil och konsumtionsmönster kan bidra till minskade utsläpp

Hur människor i framför allt de industrialiserade länderna lever och beter sig i det vardagliga livet kan ha stor inverkan på klimatet. De har ofta möjligheten att välja vilken mat och vilka produkter de ska köpa, vilken typ av bil de kör runt med, om de cyklar eller åker kollektivt till arbetet och så vidare. Det är det vardagliga behovet och den dagliga efterfrågan som i stor grad styr utsläppen från företag och industrier. Arbetet mot uppvärmningen skulle underlättas mycket om majoriteten av befolkningen förändrade sin livsstil och sitt beteendemönster. Ju fler som väljer att cykla eller åka kollektivt till arbetet istället för att ta bilen och ju fler som väljer ekologiska, miljövänligt producerade matvaror, desto bättre mår klimatet. Ju fler som väljer att köpa och köra en biogasbil och ju fler som väljer energi från förnyelsebara källor, desto bättre mår klimatet. Om människor minskade sin elanvändning eller sänkte sin värme eller i största allmänhet drog ner på sin konsumtion skulle efterfrågan minska och då skulle inte lika mycket behöva produceras vilket förmodligen skulle leda till minskade utsläpp. Listan kan göras lång. I det stora hela kan livsstilsförändringar och förändringar av

konsumtionsmönster bidra till utvecklingen mot ett hållbart samhälle, mot en koldioxidsnål ekonomi som både är rättvis och hållbar ¹⁴.

Ett viktigt verktyg för att kunna utföra detta är självklart information. Att öka människors medvetenhet om klimatet och dess förändringar och på vilket sätt de kan göra skillnad, är en betydande del av arbetet mot en bättre miljö.

Hur ser läget ut inför framtiden?

IPCC tror att klimatmålen är möjliga att nå, och att halten av växthusgaser i atmosfären ska kunna stabiliseras vid en nivå kring 450 ppm koldioxidekvivalenter ¹⁴ (alla växthusgaser har räknats in så att de motsvarar en viss mängd koldioxid). För att detta ska vara möjligt måste utsläppen nå sin topp år 2015 för att därefter minska regelbundet. Den ekonomiska potentialen för utsläppsminskningar har bedömts vara tillräckliga för att utsläppsnivåerna år 2030 ska kunna vara lägre än i idag. Om det globala priset på koldioxid genom olika styrmedel kunde värderas till omkring 35-70 öre per kilo fram till år 2030 skulle utsläppsprofilen bli annorlunda, vilket skulle kunna leda till att målen nås ¹⁴. För att stabiliseringsnivåerna ska kunna nås krävs det att det sker en omfattande marknadsspridning av en mängd redan befintlig teknik och teknik som väntas vara utvecklad innan 2030.

I och med att växthusgaserna har en viss levnadstid som alltså innebär finns kvar i atmosfären en tid efter utsläpp så kommer klimatförändringarna ändå fortgå de närmaste decennierna även om kraftiga utsläppsreduceringar görs. Det här kräver att människan förbereder sig och gör det anpassningar av samhället som behövs för att kunna bemöta förändringarna och deras följder. Utsläppsminskningar måste göras. När vi tar steget in i framtiden kan en blandning av åtgärder och strategier av dessa anledningar vara lämpliga att bära med sig. Teknisk utveckling, utsläppsreduktioner, anpassningsåtgärder och forskning är några viktiga ingredienser ¹³. Lagar, styrmedel och handel med utsläppsrätter är några verktyg som kan användas i arbetet för att främja utvecklingen så att den går i en hållbar riktning. Det kommer krävas att människor förändrar sin livsstil och sina vanor och detta måste ske på alla nivåer i samhället, allt från den enskilde medborgaren till företag och styrande organ.

Diskussion

Vi har nu sett hur klimatsystemet fungerar och vad som sätter det i gungning och får det att förändras. Vi har också insett vad det är som ligger bakom klimatproblemen och vilka effekter det har fått och troligen kommer att få. Mänskligheten står nu inför ett tydligt vägsval – agera för att stoppa den globala uppvärmningen och därigenom mildra de effekter som den för med sig, eller fortsätta som förut och ta konsekvenserna när de väl står för dörren. För mig känns det som att det bara finns en logisk väg att välja i det här fallet. Någonting måste göras! Vi måste vara försiktiga och handla med hänsyn till framtiden. *Försiktighetsprincipen* är någonting som ofta brukar tillämpas på det juridiska planet inom miljöområdet och jag ser ingen anledning till att inte använda den även på det här storskaliga problemet. Den säger nämligen att vi bör agera på ett sätt som inte medför framtida skador eller olägenheter på miljön eller människors hälsa, även i de fall då vi inte riktigt känner till vilka följderna kan tänkas bli eller hur omfattande de kommer att vara. Världen måste gå samman och arbeta mot samma mål, nämligen målet om en *hållbar utveckling* – en utveckling som alltså tillgodoser dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillgodose sina ³.

Som nämndes i introduktionen har människan en oerhörd anpassningsförmåga, och vi har än så länge lyckats anpassa oss till de flesta omständigheter som vår planet har att erbjuda oss. Jag tror därför att människan också kommer att kunna anpassa sig till en värld där det globala klimatet är några grader varmare än det är idag. Det blir emellertid en svår prövning för oss och vägen mot anpassning kommer inte att vara spikrak och utan hinder. Förändringarna kommer att innebära stora påfrestningar för samhället – problem, kostnader och lidande. Det största problemet, och tillika utmaningen, är att förändringarna i klimatet kommer ske snabbare än någonting annat som människan hittills har ställts inför. På många platser världen över kommer uppvärmningen att innebära sådana radikala förändringar att traditionella näringar försvagas eller helt slås ut. Vi kommer att komma till en tid där risken för instabilitet och konflikter inom samhällen är överhängande, och där den på många platser är betydligt större än den är idag.

Varför är klimatproblemet så brådskande?

Sedan 1970-talet har utsläppen ökat med 70 procent och de riskerar att öka avsevärt mycket mer om inga vidare styrmedel införs eller åtgärder vidtas för att reducera den mänskliga förstärkningen av växthuseffekten ¹⁴. Görs inga betydande åtgärder tror klimatforskarna att utsläppen kommer att ha ökat med mellan 25 och 90 procent inom två decennier ¹⁴. I många länder har utsläppen kunnat minskas genom miljöpolitiska åtgärder och ett arbete mot en hållbar utveckling. På grund av en pågående industrialisering i många utvecklingsländer har de sammanlagda globala utsläppen emellertid inte reducerats. Det är också utvecklingsländerna som spås stå för den kommande ökningen av utsläpp. För att

uppvärmningen inte ska bli större än 2-3 grader Celsius krävs det att halten av växthusgaser, med koldioxid i första rummet, i atmosfären stabiliseras inom en förhållandevis snar framtid. För att det ska kunna ske måste utsläppen nå sin topp inom det kommande decenniet och därefter börja minska. Blir temperaturökningen större än 3-4 grader, blir effekterna allt större och konsekvenserna för naturmiljö och det mänskliga samhället allt svårare. Därför avgör de närmaste decennierna med stor sannolikhet vilket resultatet blir och hur det kommer att gå i framtiden – vilka effekter vi har att förvänta oss och vilka anpassningar som kommer att bli nödvändiga.

Anpassningsåtgärder kommer att bli nödvändiga till följd av de utsläpp som hitintills har gjorts. Som tidigare nämnts medför växthusgasernas livstid i atmosfären att en viss grad av uppvärmning kommer att ske och vissa effekter kommer att inträffa, även om utsläppen skulle upphöra. Redan i dagsläget har samhället på många platser därför börjat anpassa sig för att möta effekterna av uppvärmningen. Hänsyn tas vid planering av nya infrastrukturprojekt och uppförandet av kustskydd på Maldiverna och i Nederländerna ¹⁴. Vilka konsekvenser har vi således att förvänta oss och vilka påfrestningar kommer det mänskliga samhället att utsättas för? Att klimatproblemet är brådskande är det i alla fall ingen tvekan om.

IPCC: s framtidsscenarier om hur framtiden kan komma att se ut

För att kunna spå hur framtiden kommer att se ut används inom klimatforskningen så kallade *framtidsscenarier* som bland annat bygger på modeller och beräkningar. Scenarierna kan beskrivas som olika utvecklingslinjer där forskarna utifrån olika utgångspunkter och förutsättningar försöker förutse hur utvecklingen kommer att arta sig. Därigenom kan vi få en uppfattning om hur framtiden kan komma att se ut och vilka följder olika specifika utvecklingslinjer kan tänkas få. Vanligen baseras scenarierna på utsläpp – alltså så kallade *utsläppsscenarier*. Då bygger forskarna upp olika framtidssituationer med hänsyn till ifall utsläppen minskar eller ökar, om förändringen är kraftig eller inte. Således kan de avgöra hur stor uppvärmningen blir och vilka effekter detta kan tänkas få, både för naturmiljön och för samhället. Utsläppsscenarierna grundar sig emellertid inte enbart på utsläppen i sig utan mer på hur samhällsutvecklingen kan tänkas bli – befolkningsökning, ökad produktion, industrialisering, införande av omfattande styrmedel, förändrad livsstil hos människor och så vidare ¹¹. Genom att jämföra skilda scenarier kan forskarna undersöka hur jorden och klimatsystemet svarar på olika grader och former av påverkan. IPCC har i sina klimatutvärderingsrapporter främst använt sig av fyra stycken olika huvudscenarier beroende på hur samhällsutvecklingen kan komma att se ut. I huvudsak grundar de sig på fyra kombinationer av fyra olika inriktningar, nämligen **A**: *strävan efter ekonomisk tillväxt* eller **B**: *strävan efter ekologiskt hållbart samhälle* kombinerat med antingen **1**: *globalisering och omfattande världshandel* eller **2**: *regional självförsörjning och bevarande av kulturella skillnader* ¹¹. Förutsättningarna för dessa presenteras mer ingående i *Tabell 6* och översiktligare i *Figur 6*.

Tabell 6. Ingående beskrivning av IPCC: s fyra huvudscenarier för framtiden.

Källa: Naturvårdsverket ¹²

Scenario	Samhällsutvecklingen och förutsättningarna för de olika scenarierna
A1	I detta scenario framställs en framtida värld som främst grundar sig på ekonomisk tillväxt och snabb teknikutveckling. Befolkningsmängden antas här tillväxa fram till omkring 2050 för att sedan avta. Utjämning mellan regioner, kapacitetsuppbyggnad och utökat socialt och kulturellt utbyte är de vanligaste inslagen. A1 scenariet som stort delas in i tre olika tänkbara underscenarier med utgångspunkt utifrån energisystemets tänkbara utvecklingslinjer: • A1FI – fossilbränsleintensiva energikällor • A1T – icke fossilbaserade energikällor • A1B – balans mellan alla typer av energikällor
A2	Här kommer den framtida världen vara mycket heterogen och grundad på självförsörjning och lokal identitet. Befolkningen väntas fortsätta öka och födelsetalen i olika regioner i världen närmar sig långsamt varandra så att skillnaderna utjämnas. Kännetecknas av skillnader i regional ekonomisk utveckling, och en förhållandevis långsam teknikutveckling.
B1	I detta scenario minskar skillnaderna mellan olika regioner i världen. Befolkningsutvecklingen når sin topp i mitten av århundradet och minskar därefter, alltså samma som i scenario A1. Skillnaden är att ekonomiska utvecklingen sker ännu snabbare i detta scenario mot en struktur baserad på tjänster och information. Materialanvändningen minskar och resurs- och energieffektiv teknik används. Huvudtemat är globala lösningar för ekonomisk, social och miljömässig hållbarhet, med ökad rättvisa men utan speciella åtgärder för att begränsa klimatpåverkan.
B2	Här kommer den framtida världen vara inriktad på lokala lösningar för ekonomiskt, socialt och miljömässigt hållbar utveckling. Det sker en ständig ökning av befolkningen, men som dock sker långsammare än i scenario A2. Den ekonomiska utvecklingen är varken snabb eller långsam utan håller en medelnivå. Jämfört med scenarierna A1 och B1 är teknikförändringen mer spridd men dock långsammare. Regional och lokal inriktning mot miljöskydd och social rättvisa.

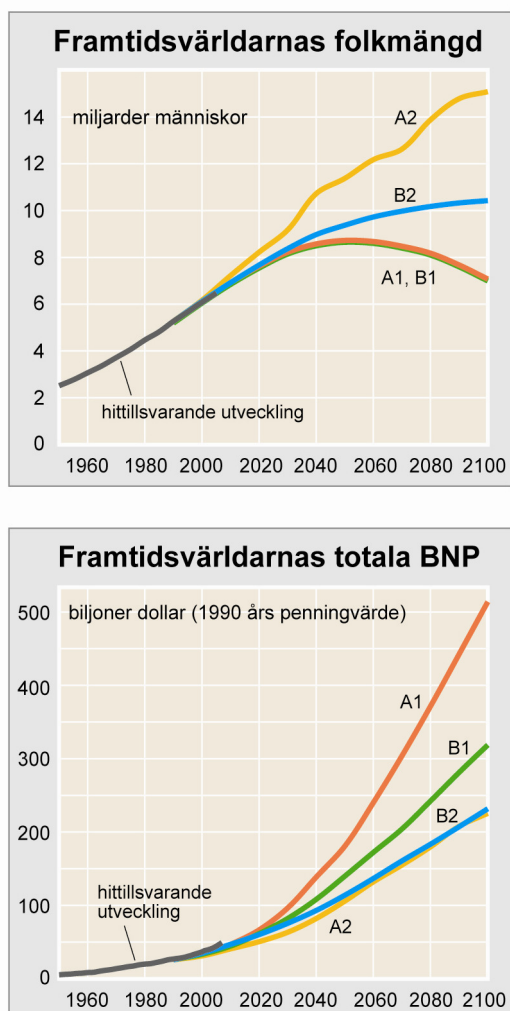
Fyra framtidsvärldar



Från Nakicenovic et al. (2000) och *En ännu varmare värld* (Monitor 20), Naturvårdsverket

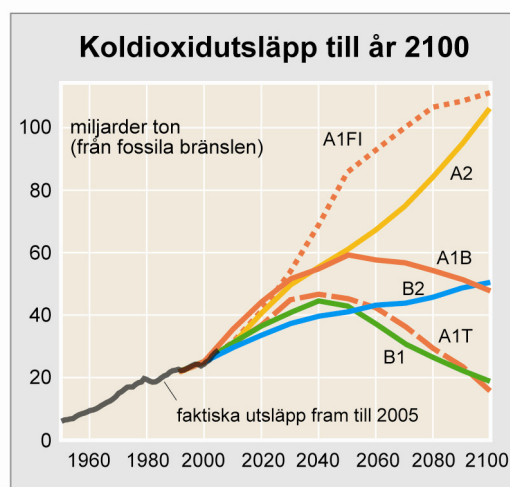
Figur 6. Sammanfattning av IPCC: s fyra huvudscenarier för framtiden

De har fyra alternativa framtidsvärldarna används sedan för att förutsäga utsläppsscenarioer för varje enskilt framtidsalternativ. Hur den förväntade befolkningsutvecklingen och BNP utvecklingen förväntas se ut under det kommande seklet kan åskådliggöras i *Figur 7*. Utsläppsscenarioerna för de framtida utvecklingsmöjligheterna kan ses i *Figur 8*.



Från Nakicenovic *et al.* (2000), Maddison (2001), Världsbanken samt *En ännu varmare värld* (Monitor 20), Naturvårdsverket

Figur 7. Utvecklingen av världsbefolkningen och världens totala BNP i IPCC: s fyra huvudscenarier för framtiden



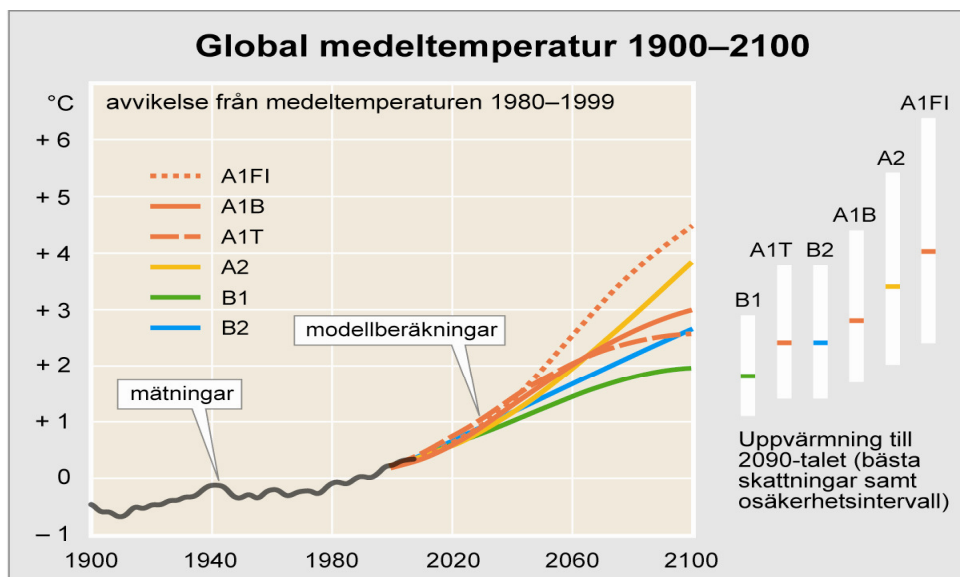
Från Nakicenovic *et al.* (2000), Stern (2005), Raupach *et al.* (2007) samt *En ännu varmare värld* (Monitor 20), Naturvårdsverket

Figur 8. Utsläppsscenarioer för koldioxid i IPCC: s fyra huvudscenarier för framtiden

Som *Figur 8* tydligt visar är det i tre av alternativen (*A1B*, *A1T* och *B1*) som utsläppen når sin topp framåt mitten av århundradet men i bara två stycken (*A1T* och *B1*) har de vid seklets slut reducerats till nivåer som befinner sig under den nuvarande nivån. Gemensamt för dessa två är teknikutvecklingen och minskningen av den globala befolkningen. Vi ser också att en fortlöpande ökning av utsläppen sker i *B2* där befolkningen ökar och teknikutvecklingen går långsamt. Slutsatser från dessa utsläppsscenarioer är att ökade utsläpp går hand i hand med fortsatt användning av fossila bränslen, långsam teknikutveckling och ökande

befolkningsmängd. Vad skulle det då finnas för lösning för att reducera klimatpåverkan från det sistnämnda? Forskare menar en ökad satsning på utbildning i framför allt utvecklingsländerna skulle kunna leda till en reducerad befolkningstillväxt och således en minskad påverkan på klimatet ¹⁰. Det är först och främst i de fattiga utvecklingsländerna som befolkningen ökar som mest och snabbast, och undersökningar från sådana länder visar att många kvinnor har fler barn än de faktiskt skulle vilja ¹⁰. Att främja utbildning i sådana länder tros kunna mildra klimatpåverkan dels genom att människor blir mer medvetna om problemen och hur man bör agera och dels genom att barnafödandet förmodligen blir mindre som en indirekt följd.

IPCC har genom sina framtidsscenarier redogjort för hur utsläppsutvecklingen skulle kunna bli i framtiden beroende på hur samhällsutvecklingen kommer att arta sig. Fortsatta utsläpp kommer leda till att växthuseffekten förstärks med resultatet att klimatet blir allt varmare. Beroende på vilket av scenarierna som används så uppskattar IPCC: s forskare att temperaturen vid nästa sekelskifte kan ha ökat med allt ifrån 1,1 °C till upp emot 6,4 °C jämfört med 1900-talets sista decennium ¹¹ (se *Figur 9*). Ju närmare vi kommer slutet av det här århundradet, desto mer förväntas klimatet påverkas av den förstärkta växthuseffekten. Det beror på att svaveldioxidutsläppen med tiden väntas bli mindre och mindre vilket får till följd att mängden sulfatpartiklar i atmosfären blir allt mindre. Detta får visserligen en positiv effekt på naturmiljön såväl som för människors hälsa, men samtidigt kommer ännu mer solljus nå ner till jordytan och där bidra till en uppvärmning ¹¹.



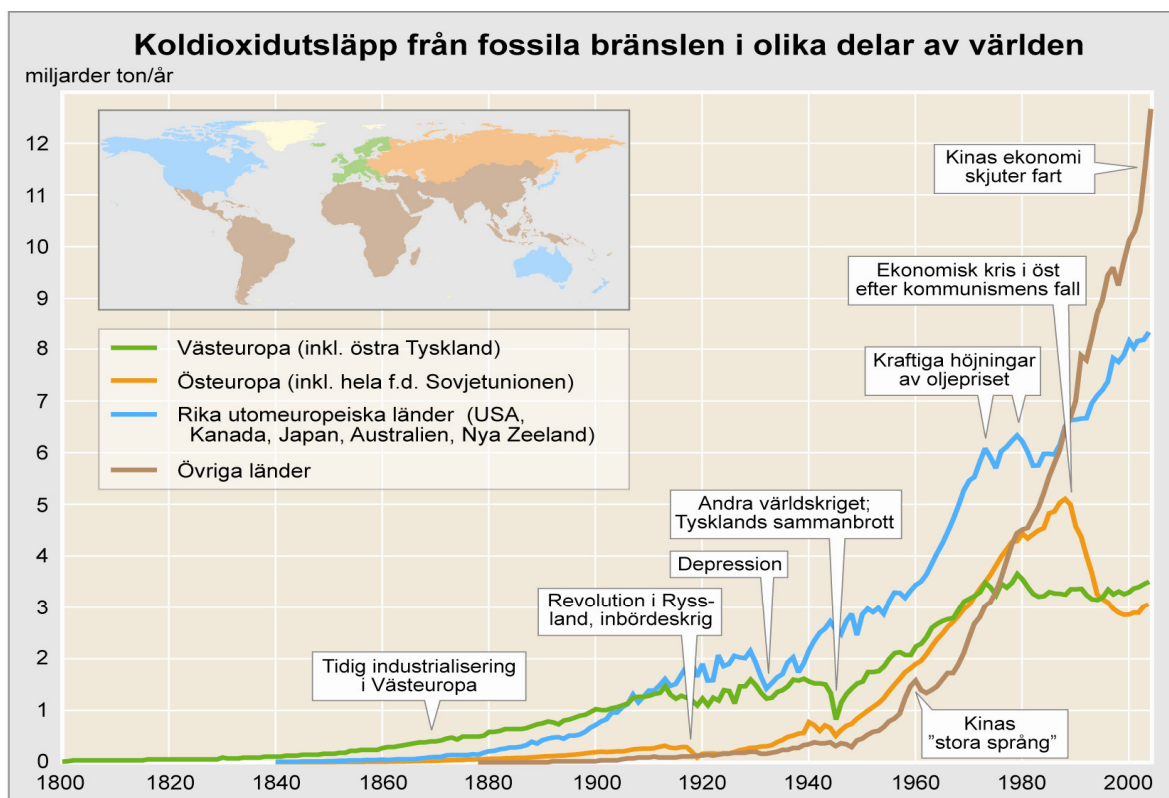
Från IPCC (2007) och *En ännu varmare värld* (Monitor 20), Naturvårdsverket

Figur 9. Den globala temperaturutvecklingen i IPCC: s huvudscenarier för framtiden.

Det finns många möjliga framtidsbilder. Som vi har sett måste utsläppen på något sätt reduceras för att de inte ska rasa i höjden i och med fortsatt befolkningstillväxt och industriell utveckling. Klimatproblemet är en global angelägenhet men frågan är om jordens alla nationer är beredda att göra vad som krävs? Eller ligger hela bördan enbart på dem som faktiskt kan anses vara ansvariga för den hitintills förstärkta växthuseffekten?

Kan det krävas att utvecklingsländer också reducerar sina utsläpp?

Människan och hennes samhälle har sedan industrialiseringen varit mer eller mindre beroende av fossila bränslen. De har utgjort grunden för ekonomisk tillväxt och varit en betydande faktorn för att uppnå materiellt välstånd. Det går därför att säga att samhällsutvecklingen har följts åt av utsläpp av växthusgaser. Stigande BNP har gått hand i hand med växande utsläpp. Det är också de rika och välutvecklade industriländerna som hittills också har stått för de flesta utsläppen. Sammanlagt har ungefär 75 procent av de totala utsläppen orsakats av de här länderna ⁸ och sedan andra världskriget har bränsleanvändningen där ökat kontinuerligt. Det är framförallt Europa, USA, Kanada, Japan och Australien som har orsakat de flesta utsläppen. Det går att göra en enkel jämförelse vars resultat talar klarspråk. Sammantaget har USA och Västeuropa tillsammans släppt ut cirka sju gånger så mycket som Kina och Indien tillsammans har gjort. Detta till trots att befolkningsmängden i Kina och Indien är mer än fyra gånger så stor som i Västeuropa och USA ⁸. I *Figur 10* visas de årliga koldioxidutsläppen från fossila bränslen i världen under de senaste tvåhundra åren.



Från Marland, Boden och Andres (CDIAC) samt *En ännu varmare värld* (Monitor 20), Naturvårdsverket

Figur 10. De årliga utsläppen av koldioxid från fossila bränslen under de senaste 200 åren.

Arbetet med att begränsa utsläppen är i full gång och i dagsläget har utsläppstakten bromsats upp i många länder och på vissa håll har även reduceringar skett. Trots detta blir de globala utsläppen bara större och den atmosfäriska halten av koldioxid allt högre. Orsaken är att många utvecklingsländer nu är på frammarsch. För många är målet att uppnå samma utvecklingsnivå och samma materiella status som råder i västländerna. Kina och Indien är två tydliga exempel där produktionsökningen per capita just nu är väldigt stor och vars ökningstakt blir allt snabbare. Speciellt i Kina går utvecklingen i rasande fart. Deras nationella ekonomi har tilltagit med så mycket som tio procent per år under de senaste åren ⁸. En bidragande faktor är att många företag i väst har valt att flytta sin verksamhet till Kina eftersom arbetskraften där är billigare. En annan faktor är det faktum att landet med sin stora befolkning och den allt tilltagande utvecklingen kräver allt mer energi och Kina har väldigt rika kolfyndigheter som flitigt utnyttjas. Energibehovet har därför lett till att ett väldigt stort antal kolkraftverk har slagits upp runt om i landet de senaste åren. Landets utsläpp av växthusgaser är storleksmässigt nu i samma klass som de amerikanska. I och med att utvecklingen fortskrider befaras de kinesiska utsläppen överstiga de amerikanska och de europeiska utsläppen tillsammans inom enbart tjugo år ⁸. De kinesiska beslutsfattarna tycker själva att de borde få stå utanför Kyotoprotokollet ⁴ då de anser att Kina ha rätt till att komma ifatt västländerna ekonomiskt. Samma åsikter finns i flertalet av utvecklingsländerna. Den stora moraliska frågan är om det är rätt eller fel att dessa länder ska ha "rättighet" att släppa ut växthusgaser av den anledningen att de ska få komma i fatt industriländerna i fråga om ekonomi och välfärd? Ligger det globala klimatproblemet endast på industriländerna och är det endast de som bör reducera sin klimatpåverkan? Visserligen är det också de som i stort bär skulden till den förstärkta växthuseffekten, men dessa länder har under sin utvecklingstid också handlat i okunskap. Idag är kunskaperna betydligt större och det finns därför ingen anledning till att agera oaktsamt. Uppvärmningen är ett globalt problem som angår hela världen, och dess effekter kommer att drabba alla. Det är samtidigt i de fattiga utvecklingsländerna som konsekvenserna kommer slå som hårdast och där oron bland befolkningen förmodligen är som störst.

Det går emellertid inte att hindra dessa länder i sin utveckling mot att uppnå samma grad av välfärd som vi själva har. Det skulle vara fel på alla sätt och skulle antagligen bli en källa till omfattande konflikter. Det måste gå att finna en lösning där utvecklingen inte hindras och där utsläppen ändå kan reduceras. En bra lösning på vägen kan tänkas vara att de rikare länderna bidrar med stöd och insatser så att teknik byts ut och förbättras. Det kan nämligen vara här som det är enklast och mest kostnadseffektivt att utföra utsläppsreducerande åtgärder, eftersom en eventuell avsaknad av resurser i många fall kan ha medfört att bästa möjliga teknik inte har använts från början. Därigenom skulle det säkerligen kunna gå att få stora effekter mot klimatpåverkan. I det långa loppet måste också teknikutvecklingen främjas i

dess länder. Eftersom den moderna västerländska tekniken för närvarande bidrar med en hel del utsläpp så räcker det inte för utvecklingsländerna att bara använda den tekniken. Bättre, effektivare och miljövänligare teknik måste så småningom införas, men den kan först införas den dag som utvecklingen tillåter det.

Om utsläppen av växthusgaser inte reduceras inom en snar framtid, kommer växthuseffekten att förstärkas allt mer och den globala uppvärmningen bli allt tydligare. Att fortsätta släppa ut växthusgaser i ytterligare några decennier innebär inte bara att effekterna av klimatförändringen kommer att förlängas med några decennier. På grund av gasernas långa livslängd i atmosfären kommer den atmosfäriska halten av dem att förbli hög under en avsevärd mycket längre tid. Under denna tid kommer de, trots att utsläppen kanske har upphört, att fortsätta orsaka klimatstörningar långt framöver. Som redan nämnts kommer uppvärmningen att få stor inverkan på naturmiljön. Men hur kommer effekterna av detta att drabba människan och hennes samhälle och hur svåra kommer konsekvenserna egentligen att bli? Det är svårt att säga exakt vad som kommer att hända och hur vi kommer påverkas, men det finns många teorier om vilka problem vi kan komma att ställas inför.

Samhället kommer att utsättas för svåra påfrestningar av olika slag

Översvämningar – ett framtida problem av stor skala

En konsekvens av uppvärmningen är att havet stiger, både till följd av smältande glaciärer och inlandsisar och till följd av den termiska expansionen av havsvattnet. Havsytan steg med åtta centimeter under perioden 1961-2003 ¹² och under de kommande hundra åren beräknas stigningen kunna uppgå till mellan 9-88 centimeter om genomsnittstemperaturen ökar med mellan 1,4 och 5,8 grader Celsius ¹. En höjning med blott en meter kan tyckas vara utan någon större betydelse, men faktum är att en sådan höjning kan komma att bli den klimatförändringseffekt som riskerar vålla de allra största problemen för vårt samhälle. En genomsnittlig stigning med en meter kan på många lokala platser vara helt förödande (exempelvis för ögruppen Maldiverna), men det är först och främst de extrema situationerna som utsätter oss för de största riskerna. Människor har för det mesta valt att bosätta sig nära hav, sjöar eller vattendrag och i dagsläget bor det över en miljard människor inom 30 km från havet ¹¹. Till det ska nämnas att befolkningstillväxten i dessa områden i överlag är dubbelt så snabb som i världen i stort. Stigande havsnivå utgör som man då kan förstå ett betydande hot. När det uppkommer extrema vädersituationer såsom orkaner eller monsuner tenderar vattennivån att stiga ytterligare och stigningen kan då bli så stor som några meter. Skyddsvallar och skyddsanordningar är idag konstruerade för att klara av många av de extrema händelserna, men om havsytan överlag stiger med bara ett par decimeter kan risken vara stor att skyddsanordningarna inte klarar av den extra höjningen som kan ske vid dessa situationer. Stora landarealer skulle då kunna hamna under vatten och det skulle vålla stora problem för dem som bor eller brukar mark inom de arealerna.

Även en genomsnittlig höjning med en meter kan vålla ofantliga problem för befolkningen i många länder, trots att extrema vädersituationer inte inträffar. För Egypten skulle en höjning av denna storlek innebära att omkring 12-15 procent av den brukbara landarealen hamnar under vatten, och i Bangladesh hotas mer än 13 miljoner människor av en sådan stigning som skulle orsaka landförluster på upp emot 17 procent av landets totala yta ¹. Också det tätbefolkade Kina skulle få stora problem då en meters stigning av havsnivån skulle hota mer än 72 miljoner människor ¹. Beräkningar tyder på att upp mot 200 miljoner människor världen över skulle drabbas om havsnivån steg med omkring en meter ¹.

Livsmedelsproduktionen riskerar att inte räcka till i det långa loppet

Allt sedan människorna övergick från att var jägare till att bli bönder har jordbruket förmodligen varit vår mest nödvändiga näring. Eftersom befolkningen ökat explosionsartat under de senaste tvåhundra åren har jordbruket varit och kommer att fortsätta vara en livsnödvändighet för att kunna förse människor med mat. Jordbruket är samtidigt väderkänsligt och den globala uppvärmning som vi människor har gett upphov till kommer därav med största sannolikhet att påverka livsmedelsproduktionen. Redan tidigare i historien finns det gott om exempel där förändrade vädersituationer med bland annat ihållande torka lett till att jordbruket drabbats negativt. Detta har i sin tur resulterat i svält och hungersnöd och i många fall också ekonomisk kris, för såväl stat som enskilda medborgare. I vissa extrema fall har detta också lett till krig och andra stridigheter för att få tag i föda. Människans samhälle är alltså känsligt för ett reducerat eller ickefungerande jordbruk. Den tekniska utvecklingen har emellertid gått snabbt och i dagsläget tillåter mekanisering, konstbevattning, handelsgödsel och växtförädling med mera att jordbruket är mer anpassningsbart och kan klara påfrestningar i större grad än förut. Avkastningen har härigenom också blivit avsevärt mycket större. För de rika industriländerna är situationen oftast som sådan, men i de fattigare utvecklingsänderna finns för det mesta inte riktigt samma förutsättningar. För dem blir det svårare att anpassa sitt bruk till eventuella förändringar i yttre omständigheter som en global uppvärmning kan medföra. Då finns risken att inkomstklyftorna ökar ytterligare.

I och med det effektiviserade jordbruket har den globala produktionen av livsmedel kunnat bli allt större. Men i och med den allt ökade befolkningsmängden och klimatförändringarna är det väldigt osäkert om jordbruket kommer att kunna producera den mängd föda som behovet kommer att kräva ¹¹. Det blir allt varmare och därför blir behovet av konstbevattning i många områden världen över också allt större, dels eftersom grödorna kommer kräva mer vatten men också för att mängden nederbörd kommer minska. Redan idag används det mesta färskvattnet inom jordbruket ¹¹ så frågan är om de globala färskvattenresurserna överhuvudtaget kommer att räcka till? På allt för många platser är vattenbristen påtaglig och om jordbruket kommer att kräva vatten som inte finns, kommer matproduktionen att bli mindre med hunger och svält som följd. I ett varmare klimat blir det i stort alltså mängden tillgängligt färskvatten som

avgör hur mycket mat som kommer att kunna produceras. Det måste dock nämnas att en ökad mängd koldioxid i atmosfären kommer fungera som en form av gödsling för grödorna vilket kommer att leda till en större tillväxt eftersom det kommer att bli möjligt för grödorna att öka sin fotosyntes och dessutom förbättra sin hushållning med vatten ¹¹. På så vis kommer avkastningen antagligen att öka. Men mängden nederbörd och tillgången på färskvatten kommer dock ändå att vara den begränsade faktorn. Inte bara i varmare länder eller där vattenbrist råder, utan sannolikt också på högre breddgrader. Själva temperaturen kommer vara en avgörande faktor. I områden kring ekvatorn kan det i många fall vara för varmt för att en del grödor ska kunna leva där eller kunna ge en bra avkastning. En temperaturhöjning med bara ett par grader skulle kunna göra att hettan blir för påtaglig för dem. Då skulle produktiviteten minska drastiskt och svälten skulle lura bakom nästa hörn.

Extrema väder har visat hur känsligt dagens samhälle är

Som nämndes tidigare har antalet kraftiga oväder blivit allt vanligare. Både när orkanen Katrina drog in över den amerikanska kusten och när orkanen Gudrun härjade över södra Sverige visades det verkligen hur stora och kostsamma skadorna kan bli. Dessutom fick vi se hur beroende samhällets funktioner är av varandra. Slås exempelvis elförsörjningen ut inom en region riskerar människor inte bara bli utan belysning och värme, även livsmedelsproduktion, kommunikation och betalningssystem kan drabbas. Följderna av ovädren genom åren har blivit allt mer kostsamma, men det beror inte bara på att ovädren ökat i styrka och omfattning. Det beror också på att samhället idag är väldigt beroende av avancerad teknik och att kedjan av samhällsfunktioner har blivit allt mer komplex. Om skadorna på så vis drabbar en nyckelfunktion kan följderna bli svåra och väldigt kostsamma trots att skadorna i sig kanske inte var omfattande. Det visar tydligt hur känsligt samhället är och hur sårbart det faktiskt är för stormar och andra hårda väder.

Nya global värmebölja – en sjätte utrotningsperiod?

Tidigare under jordens historia har det uppkommit perioder då den globala medeltemperaturen stigit, med globala värmeböljor som följd. Om temperaturen stiger med två till tre grader tyder beräkningar på att ungefär en tredjedel av de nuvarande levande arterna hotas av utrotning. Problemet är relativt komplext. Om några arter försvinner riskerar många andra arter i samma näringskedja att få det svårare och till slut kanske också dö ut. Sådana förhållanden har uppkommit tidigare när värmeböljor har drabbat världen i förhistorisk tid. Det har sammantaget inträffat fem värmeböljor och den värsta inträffade i slutet av tidseran *perm* ⁸ för 250 miljoner år sedan. Då steg temperaturen med cirka sex grader vilket fick till följd att omkring 95 procent av de då levande arterna utrotades ⁸. Under dessa händelser har utvecklingsskedet skett tämligen långsamt och arterna har förmodligen haft en förhållandevis lång tid för anpassning. Situationen idag är annorlunda. Nu är uppvärmningstakten mycket snabbare så frågan är om arterna kommer att hinna anpassa sig? Vad kommer då att hända om temperaturen börjar stiga med mer än fyra till fem grader? Det

är möjligt att vi står inför en sjätte världsomfattande utrotningsperiod. Kanske har vi redan tagit steget in i den...

Avslutning och slutsatser

Problemet kring den globala uppvärmningen är komplext. Klimatförändringarna som den orsakar kommer att ske förhållandevis snabbt och kommer med största sannolikhet att bli omfattande – ingen del av världen kommer att lämnas oberörd av dess effekter. Det är ett hot som människan måste ta på största allvar! Framtiden är svår att förutse, men vårt agerande inom den allra närmaste framtiden kommer att fälla avgörandet för hur den kommer att bli. Vissa forskare tror att det kommande decenniet kommer vara den viktigaste tiden. Görs inget då tror de att risken blir större för att vår civilisation kollapsar längre fram¹⁶. Det måste därför omgående ske omfattande förändringar av samhället för att vi ska kunna få bukt med problemet. För att minska sårbarheten för de framtida klimatförändringarna måste anpassningar göras i ännu större utsträckning än vad som redan görs i dagsläget. Vi måste vara förberedda på att hantera konsekvenserna ifall effekterna av klimatförändringen skulle slå mot oss med full kraft. Ju längre uppvärmningen tillåts fortgå, desto mer omfattande blir effekterna. Många av de tidigare effekterna kan säkerligen åtgärdas effektivt genom anpassning, men ju svårare följderna blir, desto mindre blir våra möjligheter att bemöta dem i och med att kostnaderna för anpassning kommer att öka successivt. Mänskligheten har genom historien ständigt visat sin potential till framgångsrik anpassning. Än så länge har vi i den här frågan lyckats uppbåda många typer av verktyg för att bearbeta problemet. Det kan röra sig om allt från tekniska metoder såsom kustskydd, till förändrad livsstil och annorlunda beteende. Däremellan finns verktyg som styrmedel, förebyggande planering och ändrade metoder inom jord- och skogsbruk. Det räcker emellertid inte bara med anpassning. Problemet måste angripas vid roten – utsläppen måste reduceras!

Världen tycks ändå vara medveten om problemets allvar och verkar vara beredda på att agera, vilket *Kyotoprotokollet* är ett konkret bevis på. Klimatpolitiska beslut har klubbats igenom, en internationell marknad för koldioxid har uppstått, nationella styrmedel har tagits fram, teknikutvecklingen är på frammarsch och mekanismer som ska främja ansträngningar för att begränsa klimatförändringarna har inrättats. Förmodligen, och förhoppningsvis, är det bara början. Eftersom mängden framtida utsläpp kommer att påverkas av tekniska, ekonomiska och sociala förändringar är det väldigt svårt att förutse framtiden. Till det positiva hör dock det faktum att människan trots allt är ganska bra på att åtgärda problem som vi själva bär skulden till. Av den anledningen känns det därför som att klimatförändringarnas fortsatta utveckling inte kommer att lämnas åt slumpen. Vi har redan lyckats med att i viss grad begränsa och förhindra utsläpp av olika föreningar och ju större oron för effekterna blir runt om i världen, desto större kommer engagemanget att bli.

Vad som kommer att hända med klimatet under det kommande seklet, och även där bortom, vet vi med säkerhet inte. Vi kan försöka att utföra såväl beräkningar som prognoser om hur det kommer att bli, men fortfarande är det mer eller mindre bara gissningar. Det är först när framtiden är här och knackar på dörren som vi kommer att veta. Hur som helst går det inte att påstå att det finns en slutgiltig lösning på problemet ännu. Det närmaste vore att alla världens utsläpp av växthusgaser, oavsett källa, upphör, men det är för nuvarande inte mer än en utopi. Människan har i alla fall tagit de första stegen i arbetet mot den globala uppvärmningen. Oron för dess följder är inte överdriven och det finns all anledning till att förbereda sig och vidta åtgärder. Det kanske finns en gräns där problemet blir ohanterligt och dess konsekvenser allt för stora. När denna gräns kommer är omöjligt att säga – den kan komma om hundra år eller ännu längre fram, kanske till och med snarare än vi tror.

Källförteckning

1. Bogren, J; Gustavsson, T; Loman, G. 2006. Klimatförändringar: Naturliga och antropogena orsaker (2:a uppl.). Sverige, Studentlitteratur.
2. Bogren, J; Gustavsson, T; Loman, G. 2008. Klimat och väder. Sverige, Studentlitteratur.
3. Coley, D. 2008. Energy and Climate Change: Creating a sustainable future. England, John Wiley & Sons Ltd.
4. Cramér, P; Gustavsson, S; Oxelheim, L. 2008. EU och den globala klimatfrågan (2:a uppl.). Sverige, Santérus Förlag.
5. Dow, K; E Downing, T. 2006. The Atlas of Climate Change – Mapping the world's greatest challenge. London, Earthscan.
6. Eckersten, H; Gärdenäs, A; Lewan, E. 2004. Biogeofysik – en introduktion. SLU, institutionen för markvetenskap, Avd. för Biogeofysik. Emergo 2004:3 x-y.
7. Energimyndigheten. 2007. Energiläget 2007. Eskilstuna.
8. Eklund, K. 2009. Vårt Klimat. Stockholm, Norstedts Akademiska Förlag.
9. Hedberg, M. 2010. Prognos. Effekt – klimatmagasinet. Nr 2. 15.
10. Lutz, W. 2010. What can demographers contribute to understanding the link between Population and Climate Change. Popnet, No. 41. Österrike, IIASA.
11. Naturvårdsverket. 2007. En ännu varmare värld. Monitor 20. Stockholm.
12. Naturvårdsverket. 2007. FN:s klimatpanel 2007: Den naturvetenskapliga grunden. Rapport 5677. Stockholm.
13. Naturvårdsverket. 2007. FN:s klimatpanel 2007: Klimateffekter, anpassning och sårbarhet. Rapport 5704. Stockholm.
14. Naturvårdsverket. 2007. FN:s klimatpanel 2007: Åtgärder för att begränsa klimatförändringar. Rapport 5713. Stockholm.

15. Pittock, A.B. 2009. Climate Change: The Science, Impacts and Solutions (2:a uppl.). Australien, CSIRO Publishing.
16. Ringberg, A. 2010. Ekonomin som spränger gränserna. Effekt – klimatmagasinet. Nr 2. 26-27.
17. SVT:s hemsida
[http://svt.se/2.81000/1.1059853/sodra_sverige_utan_arstid&lid=aldreNyheter_1026191&lpos=rubrik_1059853]. Publicerad 2008-02-19. Avläst 2010-04-26.
18. UNFPA. 2009. State of world population 2009. Tillgänglig online
[http://www.unfpa.org/swp/2009/en/pdf/EN_SOWP09.pdf]. Avläst 2010-04-26.